

PROYECTO CORFO **ESTUDIO DE UN MODELO CONCEPTUAL ECOLÓGICO PARA LA CUENCA DEL** **SALAR DE ATACAMA**

Informe 3: Modelo Conceptual Ecológico (MCE) de la Cuenca del Salar de Atacama

Presentado por:



Elaborado para: **Comité de Minería No Metálica y Gobernanza de los Salares de CORFO**

Líder de Proyecto Carolina Díaz Pardo

Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobación CORFO
1	7-11-2017	Equipos especialistas	C. Díaz	M.J. Ruiz-Esquide
2	5-12-2017	Equipos especialistas	C. Díaz	M.J. Ruiz-Esquide
3	19-1-2018	Equipos especialistas	C. Díaz	M.J. Ruiz-Esquide
4	08-02-2018	Equipos especialistas	C. Díaz	M.J. Ruiz-Esquide



Tabla de contenido

1	RESUMEN EJECUTIVO	1
2	INTRODUCCIÓN.....	3
3	OBJETIVOS	5
3.1	Objetivo general	5
3.2	Objetivos específicos	5
4	AREA DE ESTUDIO	6
5	METODOLOGIA	11
5.1	Identificación y caracterización de los subsistemas ecológicos presentes en la cuenca del Salar de Atacama	11
5.1.1	Caracterización de los subsistemas ecológicos de flora y vegetación	11
5.1.2	Caracterización de los subsistemas acuáticos.....	12
5.1.3	Comparación espacial entre los subsistemas acuáticos estudiados	13
5.2	Elaboración y sistematización de bases de datos del Modelo Conceptual Ecológico	14
5.3	Formulación de un modelo ecológico conceptual de la Cuenca del Salar de Atacama, contemplando los componentes, subcomponentes, interacciones y procesos, al igual que los distintos tipos de variables consideradas	15
5.4	Representación formal y gráfica el Modelo Conceptual Ecológico	17
5.5	Matriz de interacciones entre componentes y subcomponentes	17
5.6	Identificación de los principales procesos ecológicos presentes en el salar de Atacama, considerando sus dimensiones temporales y espaciales	19
5.7	Análisis de los principales gradientes presentes en el Salar de Atacama, en base a la información disponible en los antecedentes recabados	21
5.7.1	Definición de Unidades Vegetacionales	21
5.7.1.1	Pasos metodológicos.....	21
5.7.2	Elaboración de mapa de Riqueza de Flora	22
5.7.2.1	Pasos metodológicos.....	23
5.8	Análisis de sensibilidad de humedales u otros subsistemas complejos	23



6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
6.1	Caracterización de los subsistemas ecológicos presentes en la cuenca del Salar de Atacama	27
6.1.1	Caracterización de los subsistemas ecológicos de flora y vegetación (azonal y zonal)	27
6.1.1.1	Subsistema ecológico: Flora	27
6.1.1.2	Subsistema ecológico: vegetación azonal	34
6.1.1.3	Subsistema ecológico: vegetación zonal	35
6.1.2	Caracterización temporal y espacial de los subsistemas acuáticos	39
6.1.2.1	Subsistema La Punta–La Brava y Vegas de Tilopozo	44
6.1.2.2	Subsistema Peine	54
6.1.2.3	Subsistema Aguas de Quelana	60
6.1.2.4	Subsistema Soncor	64
6.1.2.5	Subsistema Laguna Tebenquiche	68
6.1.3	Comparación espacial entre los subsistemas acuáticos estudiados	71
6.1.3.1	Tapetes microbianos	71
6.1.3.2	Fitobentos	74
6.1.3.3	Fitoplancton	78
6.1.3.4	Zooplancton	83
6.1.3.5	Zoobentos	88
6.1.3.6	Plantas vasculares acuáticas	91
6.2	Base de datos del Modelo Conceptual Ecológico	93
6.3	Formulación del Modelo Conceptual Ecológico del Salar de Atacama, representación formal y gráfica del modelo y matriz de interacciones entre componentes y subcomponentes	93
6.4	Reconocimiento de los principales procesos ecológicos presentes en el salar de Atacama; dimensiones temporales y espaciales	116
6.5	Análisis de los principales gradientes presentes en el Salar de Atacama, en base a la información disponible en los antecedentes recabados	125
6.5.1	Definición de Unidades Vegetacionales	125
6.5.2	Elaboración de mapa de Riqueza de Flora	127
6.6	Análisis de sensibilidad de humedales u otros subsistemas complejos	129
7	CONCLUSIONES	137
7.1	Subsistema flora y vegetación (azonal y zonal)	137
7.2	Subsistema acuático	137
7.3	Modelo Ecológico Conceptual del Salar de Atacama	138
7.4	Análisis de sensibilidad	139

8	REFERENCIAS	141
---	-------------------	-----

Índice de figuras

Figura 4-1: Mapa de ubicación de la Cuenca del Salar de Atacama. Fuente: DGA, 2016.....	7
Figura 4-2: Localización del núcleo y zona marginal del Salar de Atacama. Elaboración: propia.....	8
Figura 4-3: Sub-cuencas actualizadas, zonas ecológicas de protección y sus áreas. Fuente: DGA, 2013	9
Figura 5-1: Talleres de trabajo de especialistas para modelación participativa	16
Figura 5-2: Mapas conceptuales preliminares elaborados en taller de trabajo	16
Figura 6-1 Representación de las especies por familia en la cuenca.....	27
Figura 6-2 Representación de las especies por género en la cuenca	28
Figura 6-3. Porcentaje total de los ciclos de vida (Anual y Perenne) en cada origen (Adventicia, Endémica y Nativa) según la Tabla 6-1	29
Figura 6-4. Porcentaje total de las especies según su hábito según la Tabla 6-2	30
Figura 6-5. Curva de rarefacción de especies considerando la totalidad de registros recopilados para el presente estudio.	31
Figura 6-6: Registros de especies vasculares registrados en la Cuenca del Salar de Atacama.....	31
Figura 6-7. Ubicación de los subsistemas de vegetación en la Cuenca del Salar de Atacama	33
Figura 6-8: Subsistemas Acuáticos del Salar de Atacama	40
Figura 6-9: Sistemas que conforman el subcomponente acuático de la Cuenca del Salar de Atacama	41
Figura 6-10: Modelo conceptual general de la dinámica de aguas superficiales y subterráneas de las lagunas del Salar de Atacama. Fuente: Rockwood Lithium Ltda, 2015	43
Figura 6-11: Ubicación de las lagunas del Subsistema La Punta-La Brava.....	46
Figura 6-12: Modelo conceptual del funcionamiento de la dinámica de aguas superficiales y subterráneas del Subsistema La Punta-La Brava. Fuente: Rockwood Lithium Ltda, 2015	47
Figura 6-13: Ubicación de las lagunas del Subsistema Peine.....	55
Figura 6-14: Modelo conceptual del funcionamiento de la dinámica de aguas superficiales y subterráneas del Subsistema Peine. Fuente: Rockwood Lithium Ltda, 2015	56
Figura 6-15: Ubicación de las lagunas del Subsistema Aguas de Quelana.....	61
Figura 6-16: Modelo conceptual del funcionamiento de la dinámica de aguas superficiales y subterráneas del Subsistema Aguas de Quelana. Fuente: Rockwood Lithium Ltda, 2015.....	62
Figura 6-17: Ubicación de los canales y lagunas que componen el Subsistema Soncor	65

Figura 6-18: Modelo conceptual del funcionamiento de la dinámica de aguas superficiales y subterráneas del Subsistema Soncor. Fuente: Rockwood Lithium Ltda, 2015.....	66
Figura 6-19: Ubicación de laguna Tebenquiche en el Salar de Atacama	69
Figura 6-20: Análisis de ordenación a través de escalamiento multidimensional no métrico NMDS, utilizando el índice de Jaccard para evaluar la presencia/ausencia de <i>taxa</i> en tapetes microbianos de los subsistemas estudiados en Salar de Atacama	72
Figura 6-21: Densidades mínimas, medias y máximas de fitobentos según subsistema analizado	75
Figura 6-22: Abundancia relativa de las especies más representativas de microalgas bentónicas según subsistema de estudio	77
Figura 6-23: Densidades mínimas, medias y máximas de fitoplancton según subsistema analizado	79
Figura 6-24: Análisis de ordenación con escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), para el fitoplancton de los subsistemas lagunares del Salar de Atacama.....	80
Figura 6-25: Abundancia relativa de las especies más representativas de microalgas planctónicas según subsistema de estudio	82
Figura 6-26: Densidades mínimas, medias y máximas de zooplancton según subsistema analizado.....	84
Figura 6-27: Análisis de ordenación con escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), para el zooplancton de los subsistemas lagunares del Salar de Atacama.....	85
Figura 6-28: Abundancia relativa del zooplancton más representativo según subsistema de estudio	86
Figura 6-29: Diagrama de interacciones tróficas en cuerpos de agua sin peces del Norte de Chile	88
Figura 6-30: Abundancia relativa de los <i>taxa</i> de zoobentos según el Subsistema en estudio del Salar de Atacama.....	89
Figura 6-31: Análisis de ordenación con escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), para el zoobentos de los subsistemas lagunares del Salar de Atacama.....	91
Figura 6-32: Salida gráfica del Modelo Ecológico Conceptual de la Cuenca del Salar de Atacama (MECSA).....	113
Figura 6-33: Acercamiento a la salida gráfica del modelo conceptual, que permite mostrar en mayor detalle las interacciones de los subcomponentes de ecosistemas acuáticos.....	114
Figura 6-34: Etapas de desarrollo del Modelo ecológico conceptual.....	115
Figura 6-37: Polígonos de análisis de cobertura de vegetación azonal para los sectores de Tilopozo y Peine. Fuente: Rockwood Lithium Ltda, 2015.....	117
Figura 6-36: Serie de tiempo indicando la variación temporal en la cobertura de vegetación azonal en el sector de Tilopozo. (Fuente: Elaboración propia sobre información del Plan de Manejo Biótico, Rockwood Lithium).	118
Figura 6-37: Serie de tiempo indicando la variación anual en la cobertura promedio de vegetación azonal en el sector de Tilopozo. (Fuente: Elaboración propia sobre información del Plan de Manejo Biótico, Rockwood Lithium).	118

Figura 6-38: Análisis espectral para la serie de tiempo de cobertura promedio anual de vegetación azonal en el sector de Tilopozo. (Fuente: Elaboración propia sobre información del Plan de Manejo Biótico, Rockwood Lithium).	119
Figura 6-39: Serie temporal de precipitación estival acumulada para la estación meteorológica de Peine (DGA, código 02500002-K). Fuente: Plan de Manejo Biótico, Rockwood Lithium	120
Figura 6-40: Serie temporal de precipitación estival acumulada digitalizada. Datos correspondientes a la estación meteorológica de Peine (DGA, código 02500002-K). Fuente: Plan de Manejo Biótico, Rockwood Lithium	121
Figura 6-41: Análisis de frecuencia de la serie temporal de precipitación estival acumulada digitalizada. Datos correspondientes a la estación meteorológica de Peine (DGA, código 02500002-K). Fuente: Elaboración propia sobre información del Plan de Manejo Biótico, Rockwood Lithium	122
Figura 6-42: Diagrama de Stommel que resume las escalas de tiempo y espacio de los procesos del Salar de Atacama y su relación con algunos de los procesos presentes en el Salar	123
Figura 6-43: Definición de Unidades Vegetacionales	126
Figura 6-46: Mapa de Riqueza de Flora	128

Índice de tablas

Tabla 4-1. Categorías de conservación para las especies del género <i>Prosopis</i>	10
Tabla 5-1: Detalle de información bibliográfica revisada para la caracterización biótica y abiótica del Salar de Atacama	12
Tabla 5-2: Componentes y subcomponentes del modelo ecológico conceptual de la Cuenca del Salar de Atacama	18
Tabla 5-3: Ejemplo de tabla resumen de Matriz de Amenazas	25
Tabla 6-1: Especies según su origen y ciclo de vida	28
Tabla 6-2: Especies según su hábito y origen	29
Tabla 6-3: Principales autores de los registros de especies en la Cuenca del Salar de Atacama	32
Tabla 6-4: Área y porcentaje de los subsistemas presentes en la Cuenca del Salar de Atacama	34
Tabla 6-5: Clasificación según la salinidad del agua	42
Tabla 6-6: Resumen de las campañas realizadas por Rockwood Lithium para los componentes de fitobentos y fitoplancton	58
Tabla 6-7: Riqueza total media y riqueza total de microalgas bentónicas para los sectores de estudio	74
Tabla 6-8: Densidades mínimas, medias y máximas de microalgas bentónicas para los sectores de estudio (cel/mm ²)	75

Tabla 6-9: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a densidad de microalgas bentónicas, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.	76
Tabla 6-10: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a composición y abundancias de especies de microalgas bentónicas, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.	76
Tabla 6-11: Abundancia relativa (%) de microalgas bentónicas mejor representados según subsistema de estudio en el Salar de Atacama.....	76
Tabla 6-12: Riqueza total media y riqueza total de microalgas plantónicas para los sectores de estudio	78
Tabla 6-13: Densidades mínimas, medias y máximas de microalgas plantónicas para los sectores de estudio (cel/L)	79
Tabla 6-14: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a densidad de microalgas plantónicas, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.	80
Tabla 6-15: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a composición de <i>taxa</i> de microalgas plantónicas, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.....	80
Tabla 6-16: Abundancia relativa (%) de las especies de microalgas plantónicas mejor representadas según subsistema de estudio en el Salar de Atacama.....	81
Tabla 6-17: Riqueza total y total media de zooplancton en los sectores de estudio	83
Tabla 6-18: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a riqueza de zooplancton, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.....	83
Tabla 6-19: Densidades mínimas, medias y máximas de zooplancton para los sectores de estudio (ind/L)	84
Tabla 6-20: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a densidad de zooplancton, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.....	85
Tabla 6-21: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a composición de <i>taxa</i> de zooplancton, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.	85
Tabla 6-22: Abundancia relativa (%) de zooplancton mayormente representado según subsistema de estudio en el Salar de Atacama	86
Tabla 6-23. Riqueza total y total media del zoobentos para los sectores de estudio	90
Tabla 6-24. Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a riqueza de zoobentos, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.	90
Tabla 6-25. Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a composición de <i>taxa</i> de zoobentos, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.	91
Tabla 6-26: Lista de especies de macrófitas según Subsistema en estudio del Salar de Atacama (símbolo X indica presencia de la especie en el sitio correspondiente).....	92
Tabla 6-27: Lista de componentes y subcomponentes del modelo ecológico conceptual para el Salar de Atacama	94

Tabla 6-28: Matriz de interacciones entre los subcomponentes del modelo ecológico conceptual para el Salar de Atacama en el ambiente Acuático y Terrestre.....	101
Tabla 6-31: Resumen de análisis de sensibilidad para los principales subsistemas de Lagos someros salinos que corresponden a los subsistemas de Soncor, Aguas de Quelana y Tiloposo.....	130
Tabla 6-32: Resumen de análisis de sensibilidad para los Afloramientos o vertientes de agua salobre presentes en el Salar de Atacama.....	130
Tabla 6-33: Resumen de análisis de sensibilidad para las Comunidades acuáticas salinas e hipersalinas presentes en el Salar de Atacama.....	131
Tabla 6-34: Resumen de análisis de sensibilidad para las Comunidades acuáticas dulce-salobres presentes en el Salar de Atacama	132
Tabla 6-35: Resumen de análisis de sensibilidad para los Bofedales y Vegas presentes en el Salar de Atacama...	132
Tabla 6-36: Resumen de análisis de sensibilidad para los Matorrales presentes en el Salar de Atacama.....	133
Tabla 6-37: Resumen de análisis de sensibilidad para los subsistemas hidrogeológicos e hidrológicos presentes en el Salar de Atacama.....	134
Tabla 6-38: Resumen de análisis de sensibilidad para las poblaciones de Flamencos presentes en el Salar de Atacama	134
Tabla 6-39: Resumen de análisis de sensibilidad para la especie <i>Heleobia atacamensis</i> presente en el Salar de Atacama	135
Tabla 6-40: Resumen de análisis de clasificación de sensibilidad para los principales subsistemas identificados en el Salar de Atacama	136

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A. INFORMACIÓN BASE PARA EL ANÁLISIS DEL SUBCOMPONENTE DE FLORA DE LA CUENCA DEL SALAR DE ATACAMA

ANEXO B. COMPILADO DE BASE DE DATOS ACUATICA OBTENIDA DE DATOS GENERADOS POR PROYECTOS DE INVERSIÓN EN OPERACIÓN.

ANEXO C. ESTÁNDARES ABIERTOS PARA LA PRÁCTICA DE LA CONSERVACIÓN DE LA ASOCIACIÓN DE MEDIDAS DE CONSERVACIÓN (FOUNDATIONS OF SUCCESS, 2009)

ANEXO D. LISTAS DE TAXA DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS ENCONTRADOS EN DISTINTOS SUBSISTEMAS HIDROLÓGICOS DEL SALAR DE ATACAMA

ANEXO E. BASE DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE ESCALAS ESPACIOTEMPORALES DE MIGRACIÓN EN ESPECIES DE FLAMENCOS PRESENTES EN EL SALAR DE ATACAMA

1 RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio, es el tercer informe de avance del proyecto Estudio de un Modelo Conceptual Ecológico para la Cuenca del Salar de Atacama.

Los modelos conceptuales son ampliamente utilizados para sintetizar y comunicar la comprensión de la dinámica del sistema estudiado. Un aspecto clave de los modelos conceptuales, es que permiten identificar aquellos procesos y variables ecológicas importantes para determinar la variación y estado del ecosistema. Además, estos modelos facilitan la comunicación de interacciones complejas entre especies, recursos y condiciones y entre ellos. Por ello, la definición de componentes, las variables que los caracterizan, al igual que de los factores y procesos que pueden afectarlos son etapas clave en la elaboración de un modelo ecológico conceptual.

1

Entre los objetivos a cumplir en este informe es identificar y caracterizar los subsistemas ecológicos presentes en la cuenca del Salar de Atacama y con esto formular un modelo ecológico conceptual del Salar de Atacama, contemplando los componentes, subcomponentes, interacciones y procesos, al igual que los distintos tipos de variables consideradas. Identificar los principales procesos ecológicos presentes en el salar de Atacama, identificando sus dimensiones temporales y estimar las dimensiones espaciales de los subsistemas ecológicos y sus procesos principales dentro de la cuenca. Obteniendo como producto final la representación gráfica del Modelo Conceptual Ecológico (MCE).

Para esto, dentro de la metodología estuvo la utilización de referencias científicas para la caracterización tanto de los subsistemas de flora y vegetación como los subsistemas acuáticos. Para la realización de una comparación espacial de los subsistemas acuáticos fueron utilizados diferentes estadísticos no paramétricos que permitieran hacer comparaciones entre los subsistemas (espacial). En el caso de flora y vegetación esto no fue posible de desarrollar debido a que en la gran mayoría de los casos sólo se dispone de la identificación de una especie dada y su ubicación geográfica, o la mera descripción de la vegetación presente. Esto es que, en el caso de los subsistemas acuáticos se contó con datos cuantitativos, mientras que en el subsistema de flora y vegetación se encontró únicamente datos cualitativos, con los que no es posible realizar análisis estadísticos.

Por otro lado, la información utilizada fue sistematizada a la forma de bases de datos por componente estudiado y guardada en una nube virtual para poder ser utilizada por todos los especialistas incluidos en este informe.

Para el desarrollo del MCE fueron desarrolladas mesas participativas de todos los especialistas involucrados, además de talleres con la contraparte técnica perteneciente a CORFO. Con esto se determinó los componentes relevantes para la construcción del MCE y las interacciones ocurridas entre estos.

El análisis de sensibilidad de humedales fue desarrollado solicitando a cada grupo de consultores expertos que analizaran las amenazas que se pueden identificar para cada subsistema ecológico presente en el Salar de Atacama. La metodología corresponde a la propuesta en los Estándares Abiertos para la Práctica de la Conservación de la Alianza para las Medidas de Conservación (*Conservation Measures Partnerships* - CMP).

Entre los resultados, lo más relevante fue la obtención del Modelo Conceptual Ecológico, con una densa conectividad entre los distintos subsistemas presentes y entre los componentes bióticos y abióticos que los



conforman. La mayor parte de las interacciones identificadas corresponden a interacciones de tipo trófico, correspondientes a depredación o herbívora, principalmente. Además, se identificaron interacciones recíprocas como la polinización o la simbiosis.

Finalizado el trabajo de obtener y desarrollar el Modelo Conceptual Ecológico, se pudo concluir, principalmente que, a pesar de la relevancia del Salar de Atacama como sistema ecológico y fuente de recursos, carece de estudios a escala de cuenca acerca de información básica como la composición florística y la estructura de la vegetación, en los sistemas terrestres y las densas interacciones existentes en los tapetes microbianos de los sistemas acuáticos. La información disponible posee diversas escalas de análisis que dificultan su comparación y/o complementación, por otra parte, los datos de riqueza existente son escasos y concentrados en zonas de mayor accesibilidad, dejando la mayor parte del territorio sin prospección. Por lo cual es imprescindible contar con un plan de monitoreo y estudios científicos que permitan tener más información y conocimiento con respecto a las especies y ecosistemas presentes en la cuenca estudiada.

2 INTRODUCCIÓN

Tal como define la Convención RAMSAR, los humedales incluyen una amplia variedad de hábitat tales como pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos, y áreas costeras tales como marismas, manglares y praderas de pastos marinos, pero también arrecifes de coral y otras áreas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros, así como humedales artificiales tales como estanques de tratamiento de aguas residuales y embalses (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010). En particular, aquellos humedales que son parte de los ecosistemas de páramo, jalca y puna, son conocidos como humedales andinos y altoandinos, que conforman sistemas con una gran variedad de ambientes, como lagos y lagunas de agua dulce (glaciar, volcánico y tectónico), salares, bofedales y turberas, aguas termales y géiseres (Ahumada et al., 2011).

3

Los humedales andinos sustentan una diversidad biológica única y se caracterizan por un alto nivel de endemismo, tanto de especies animales como vegetales, terrestres y acuáticas (MMA & Centro de Ecología Aplicada, 2011). Estos humedales cumplen un conjunto importante de funciones ecosistémicas, siendo de particular interés (pero no las únicas) para los salares funciones como las siguientes:

- Proveen hábitat y sitios de descanso y alimentación para muchas especies de aves migratorias
- Proveen hábitat y zonas de reproducción para un gran número de especies, muchas de las cuales se encuentran en categorías de conservación relevantes
- Sustentan un conjunto de procesos de almacenamiento y traspaso de energía y biomasa que proveen puntos de alta productividad y riqueza taxonómica.

Sumado a estas funciones ecosistémicas, los humedales andinos y alto-andinos proveen un conjunto de servicios ecosistémicos importantes al ser humano, incluyendo el suministro de agua, extracción de recursos mineros, retención de sedimentos y contaminantes, retención y remoción de nutrientes, secuestro de carbono, entre otros atributos especiales, como sustentar una alta biodiversidad, sustentar grandes poblaciones de aves, particularmente de especies migratorias, y también como patrimonio cultural (Carrasco-Lagos et al., 2015). Por todas estas razones los humedales andinos y alto-andinos juegan un rol vital en el desarrollo de las cuencas andinas y de los sistemas hidrográficos que sostienen actividades de importancia económica y social (MMA & Centro de Ecología Aplicada, 2011). La importancia y relevancia de los humedales andinos se pone de relieve si se considera que a escala global estos ecosistemas son escasos y presentan un alto grado de fragilidad. Esto los vuelve ecosistemas particularmente susceptibles tanto a alteraciones naturales como al impacto de actividades realizadas por el ser humano. Desde hace unos años, se ha comprendido su relevancia y han surgido varias iniciativas público-privadas para apoyar la conservación de estos ecosistemas (MMA, 2011). Su alta fragilidad y vulnerabilidad se asocia a causas naturales (como extensas sequías) y antrópicas (como la perturbación en el marco de actividades productivas). De estas últimas las causas más relevantes que han llevado a la degradación de los humedales son: la extracción de agua para usos agrícolas y mineros, la fragmentación de los sistemas acuáticos, los intensos procesos de urbanización, las quemadas, la contaminación y la construcción de grandes obras de infraestructura, además del alto crecimiento de la población humana y una sectorizada y poco integral planificación del desarrollo. Debido a esto, muchos humedales se están perdiendo de manera acelerada, siendo el desconocimiento sobre su dinámica y ecología un punto importante que ha influido sobre este escenario (MMA & Centro de Ecología Aplicada, 2011). Pese a contar con un cierto grado de resiliencia, la degradación de estos ecosistemas acarrea la

pérdida no sólo de fuentes esenciales de agua, sino de otros múltiples beneficios incluyendo su potencial para la recreación y el ecoturismo. Por ello es importante su conservación y su uso no debiera ir más allá de los límites del umbral crítico donde su deterioro se hace irreversible (CIREN, 2013). Un umbral crítico es un valor de una o más variables ambientales, que al ser superado desencadena cambios importantes en la estructura y funcionamiento del sistema. Ejemplos de ello pueden ser la reducción del volumen de agua en un humedal más allá del valor mínimo necesario para sustentar la diversidad de especies y procesos de traspaso y almacenamiento de energía.

Ahora bien, el desarrollo de actividades productivas de gran escala generalmente trae asociado consigo un conjunto de efectos e impactos sobre el entorno natural y social. En un esfuerzo por mitigar o eliminar estos efectos adversos, la institucionalidad y normativa ambiental ha generado procedimientos y reglamentos como la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y el monitoreo ambiental. En ese sentido, un monitoreo ambiental adaptativo se centra en la medición o registro periódico de los recursos y variables ambientales significativos de un sistema ambiental, tanto a lo largo del tiempo como a través del espacio (Lindenmayer & Likens, 2009). Ello con el objetivo de permitir la toma de decisiones ambientales que cautelen la persistencia y bienestar del ecosistema, sus componentes y las comunidades humanas asociadas al mismo. No obstante, para ser eficaz, un programa de monitoreo adaptativo debe presentar algunos elementos clave: i) abordar preguntas bien definidas y precisas, que se especifican antes del inicio del programa de monitoreo; (ii) basarse en un diseño estadístico riguroso; iii) basarse en un modelo conceptual de cómo un ecosistema podría funcionar, o cómo los componentes estudiados en un programa de monitoreo podrían funcionar (por ejemplo una población, comunidad o formación vegetaciones); y por último (iv) ser guiado por el objetivo último de ganar comprensión sobre un ecosistema (Lindenmayer & Likens, 2009).

En este caso, el supuesto fundamental es que los humedales, en términos de biodiversidad, son una expresión de los factores físicos y químicos que regulan su estructura y funcionamiento. Sin embargo, existe una multiplicidad de variables, que hacen de estos ecosistemas, sistemas muy complejos. Una forma de observar dicha complejidad es mediante la elaboración de un modelo conceptual, el cual, puede ser considerado como una lista de variables de estado y funciones forzantes que son importantes en determinar la estructura, dinámica y funcionamiento de un ecosistema en general (Jørgensen & Fath, 2011). En ese sentido, los modelos o diagramas conceptuales son ampliamente utilizados para sintetizar y comunicar la comprensión de la dinámica del sistema. Un aspecto clave de los modelos conceptuales, es que permiten identificar aquellos procesos y variables ecológicas importantes para determinar la variación y estado del ecosistema. Así, encapsulan las preguntas y componentes que guían el diseño de un plan de monitoreo adaptativo. Además, los modelos conceptuales facilitan la comunicación de interacciones complejas entre especies, recursos y condiciones, y entre estos y los indicadores y estados de los procesos y variables de estado ecológicas. Por ello, la definición de componentes, las variables que los caracterizan, al igual que de los factores y procesos que pueden afectarlos son etapas clave en la elaboración de un modelo ecológico conceptual.

El presente estudio se enfoca en el desarrollo de un modelo conceptual ecológico para la cuenca del Salar de Atacama, correspondiendo el presente documento al tercer informe de avance, el cual, contempla el análisis crítico de los antecedentes ambientales registrados para la cuenca del Salar de Atacama para el desarrollo del modelo.



3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- Elaborar y presentar un Modelo Conceptual Ecológico (MCE) del ecosistema de la cuenca del Salar de Atacama.

5

3.2 Objetivos específicos

- Formular un modelo ecológico conceptual del Salar de Atacama, y representar de manera formal y gráfica el Modelo Conceptual Ecológico, contemplando los componentes, subcomponentes, interacciones y procesos, al igual que los distintos tipos de variables consideradas.
- Identificar y caracterizar los subsistemas ecológicos presentes en la cuenca del Salar de Atacama.
- Elaboración y sistematización de bases de datos del Modelo Conceptual Ecológico.
- Analizar los principales gradientes de factores físicos presentes en el Salar de Atacama, en base a la información disponible en los antecedentes recabados
- Identificar los principales procesos ecológicos presentes en el salar de Atacama, identificando sus dimensiones temporales.
- Estimar las dimensiones espaciales de los subsistemas ecológicos y sus procesos principales dentro de la cuenca.
- Elaborar un mapa de sensibilidad de humedales u otros subsistemas complejos.

4 AREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la hoya hidrográfica del Salar de Atacama, la cual, corresponde a una cuenca endorreica que se desarrolla en el centro oriente de la Región de Antofagasta. Está ubicada entre la Cordillera de los Andes por el este y por la Cordillera de Domeyko por el oeste, entre los 22°20' de latitud hasta los 24°10' latitud sur y tiene su mayor longitud en sentido N-S de 210 km y un ancho máximo de 110 km (Alonso & Risacher, 1995).

6

La cuenca del Salar de Atacama tiene un área de 18.100 km² aproximadamente, mientras que el Salar de Atacama como tal una extensión aproximada de 3.000 km². El salar se ubica en la zona terminal de la cuenca a una altura aproximada de 2.300 m.s.n.m., siendo la evaporación hacia la atmosfera la única salida natural del agua (DGA, 2012, 2016). De acuerdo con la cartografía generada por DGA (2016, Figura 4-1) el salar se encuentra en la zona central de la cuenca y presenta una estación meteorología de dicha institución del Estado en la parte norte de la cuenca. Al interior del cuerpo salino se distinguen allí dos unidades: el núcleo y la zona marginal (Figura 4-2).

De acuerdo a los estudios realizados por DGA (2013, 2016) la cuenca del Salar de Atacama se encuentra conformada por seis 6 subcuencas hidrográficas aportantes al Salar (A1, A2, B1, C1, C2, N1), y por 4 zonas ecológicas de protección (Figura 4-3). Las zonas de protección establecidas por DGA (2013, 2016) son el núcleo (N), destacado con línea roja en la Sub-cuencas actualizadas, zonas ecológicas de protección y sus áreas. Fuente: DGA, 2013 figura 4-3 anteriormente mencionada y las tres restantes corresponden a la zona marginal (A, B, C), las cuales también se destacan en rojo. Estas subcuencas hidrográficas comprenden un área total de 17.257 km² (DGA, 2013, 2016). Respecto al núcleo salino, corresponde a un cuerpo homogéneo formado por costras duras de cloruro de sodio, de relieve muy irregular, fracturado, dentado y quebradizo, que constituye principalmente la parte central y oeste del Salar de Atacama. La zona marginal (sectores A, B y C), que se ubica entre el núcleo y los acuíferos que rodean los depósitos salinos, es una zona plana con el agua subterránea bastante superficial, con presencia de vegetación y en ella se emplazan los sistemas lacustres (DGA, 2016).

El aporte principal de agua a la cuenca lo constituye la infiltración de las precipitaciones que caen en las zonas altas de la cordillera de Los Andes, y que escurren hacia el salar. Esta agua dulce entra en contacto con la salmuera del núcleo salino del salar, lo que produce la formación de una interfaz o cuña salina. Esta interfaz actúa como un borde impermeable para el agua menos densa y hace que ésta aflore y se establezcan lagunas y humedales de diversa extensión y forma en los bordes Sur y Este del salar (DGA, 2012). Esta extensión húmeda alcanza aproximadamente a 1.500 km², lo que representa un 10% de la superficie total. Constituye la base de equilibrio de una profusa red de drenaje, junto con las principales vías de escurrimiento superficial provenientes desde la cabecera norte del salar, a través de los ríos San Pedro y Vilama (Cade-Idepe, 2004).

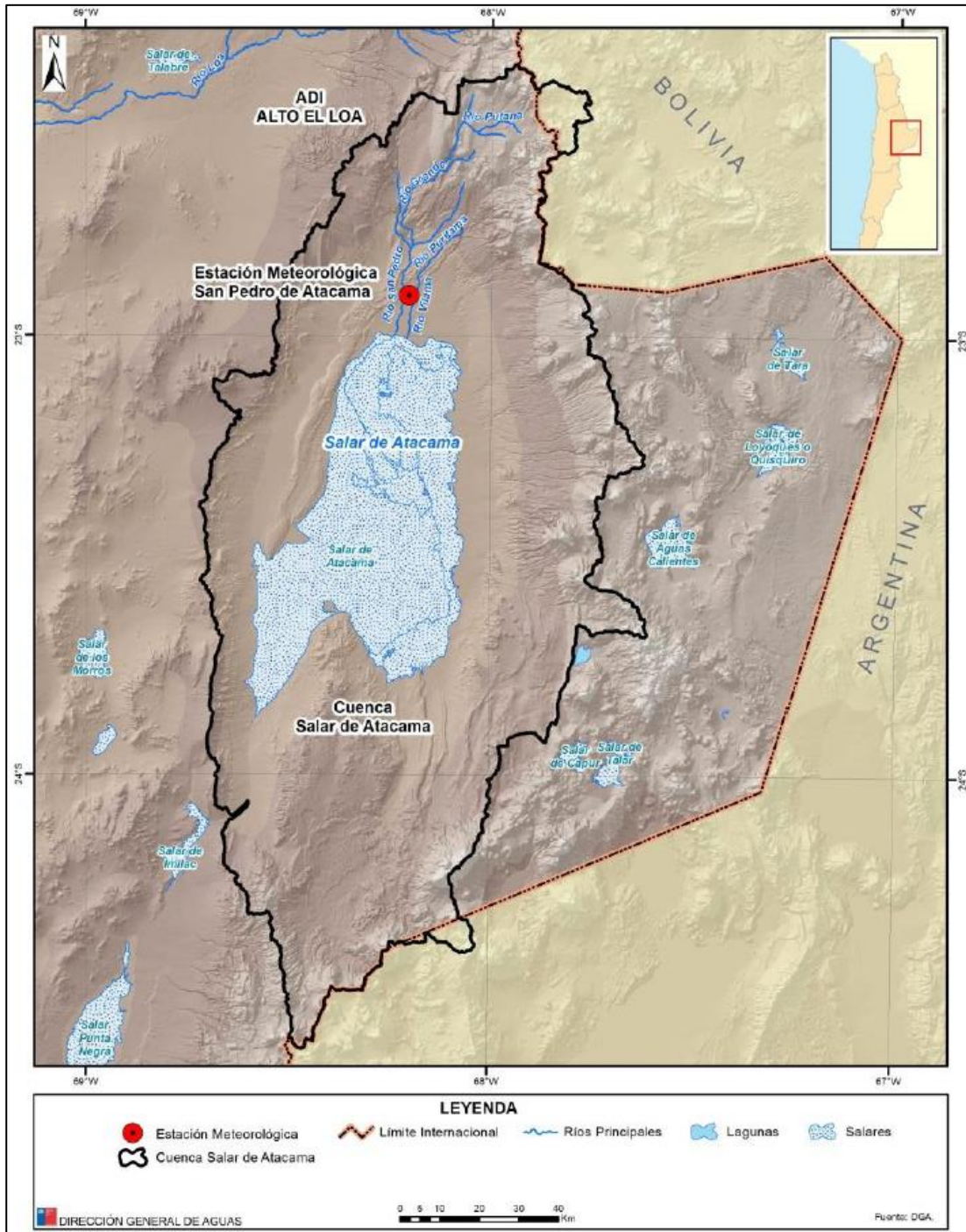


Figura 4-1: Mapa de ubicación de la Cuenca del Salar de Atacama. Fuente: DGA, 2016

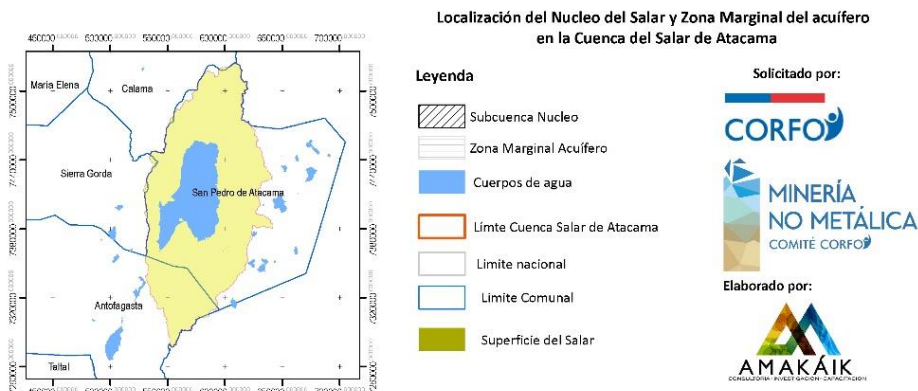
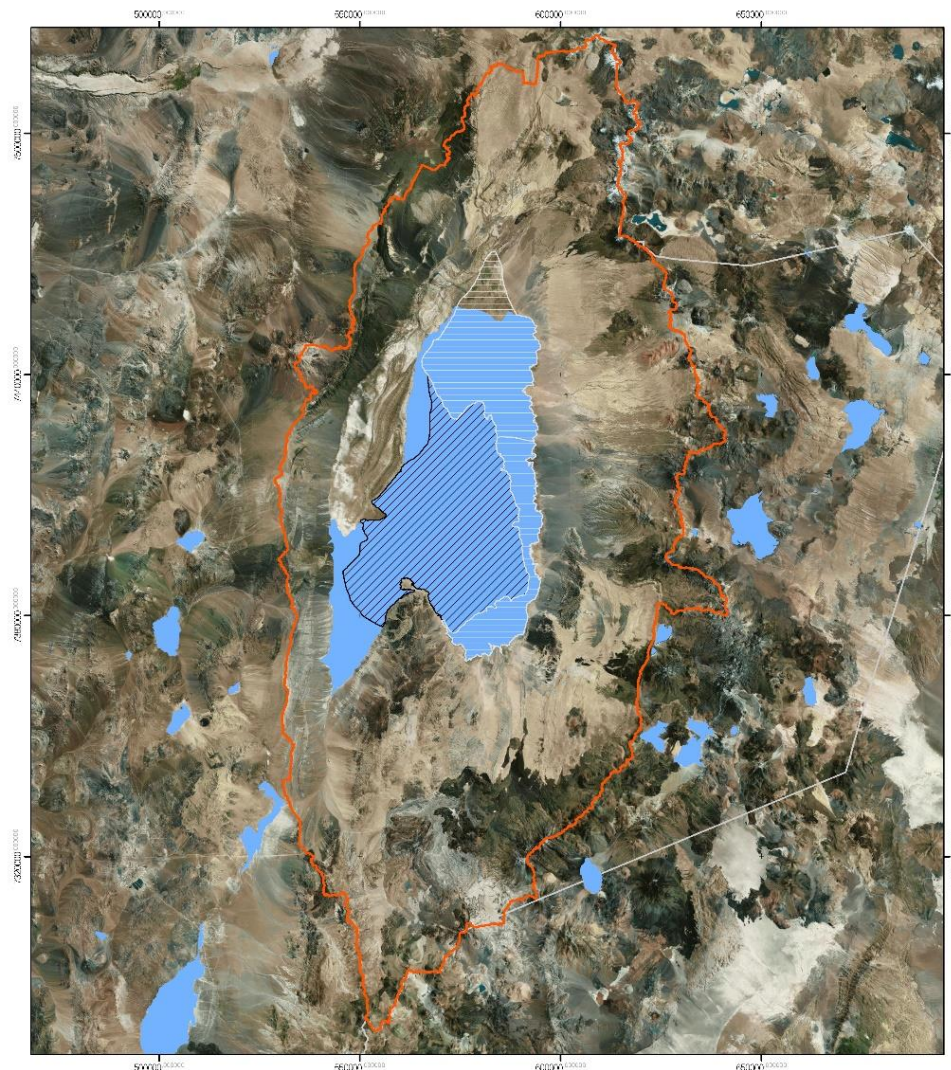


Figura 4-2: Localización del nucleo y zona marginal del Salar de Atacama. Elaboración: propia.

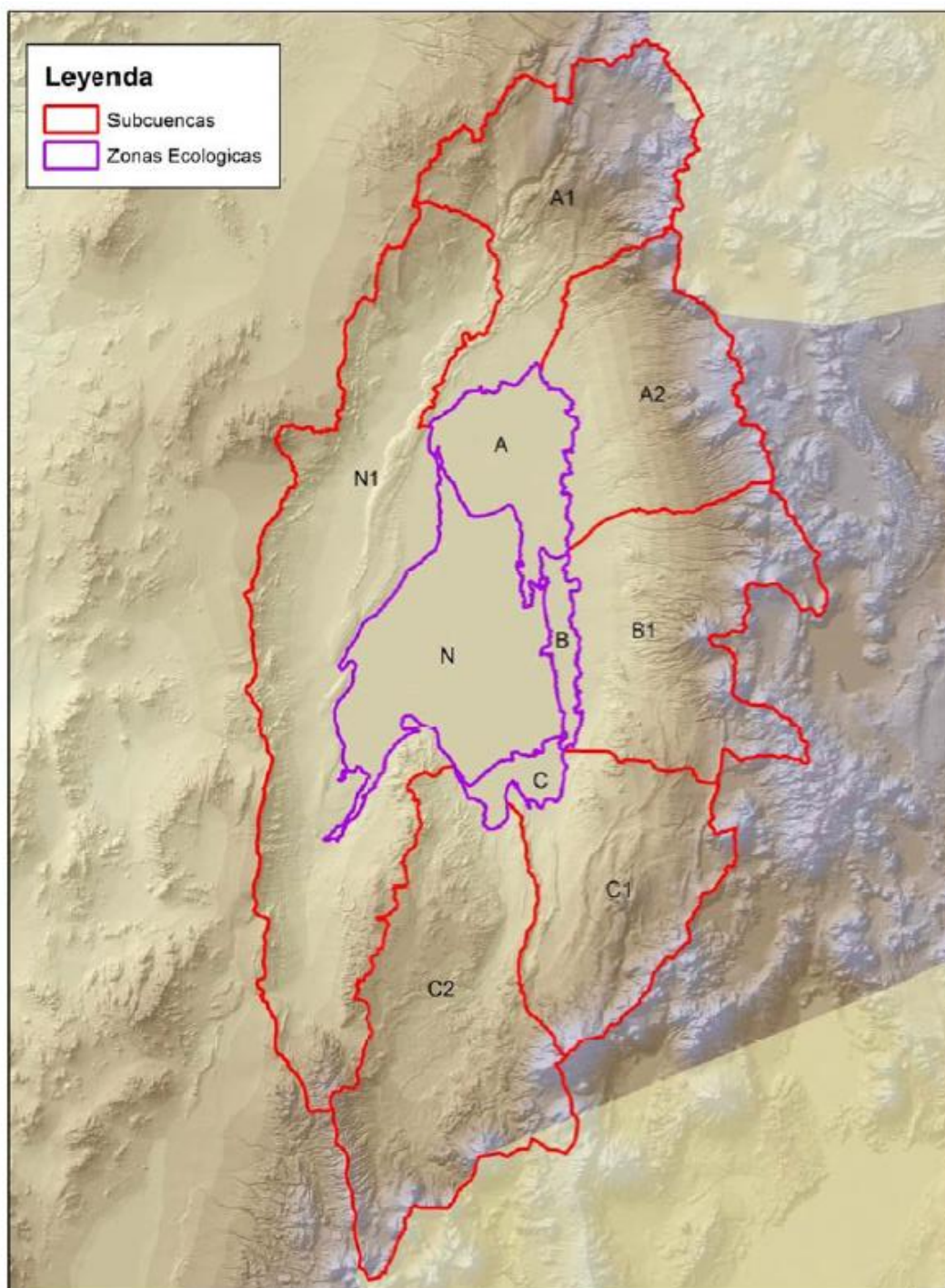


Figura 4-3: Sub-cuencas actualizadas, zonas ecológicas de protección y sus áreas. Fuente: DGA, 2013

El río San Pedro es el principal aporte superficial del Salar de Atacama y es el que sustenta la mayor área regada alrededor del pueblo principal. El río San Pedro se origina a unos 12 km aguas arriba del pueblo de San Pedro de Atacama de la confluencia de los ríos Grande que viene del noreste y del Salado o Chuschul que proviene del noroeste. El río Grande se origina en la alta cordillera en la confluencia de los ríos Jauna y Putana. El segundo afluente importante del salar corresponde al río Vilama el que nace de la confluencia de los ríos Purifica y Puritana, a 3.370 m de elevación a unos 22 km al norte del pueblo de San Pedro de Atacama (Cade-Idepe, 2004). De acuerdo con los mismos autores, el caudal promedio anual del Río San Pedro en su nacimiento es de 800 l/s y el del río Vilama en su nacimiento son de 281 l/s.

Al oriente del salar se desarrolla un plano inclinado de pendiente fuerte, esto genera pequeños escurrimientos de las quebradas Jerez, Talabre, Camar y Peine, que dan vida a algunos oasis, entre ellos los de Toconao, de Socaire y Peine. En el extremo sur del salar, la quebrada de Tarajne y Tulán, mantienen un pequeño oasis llamado Tilomonte, donde prospera el algarrobo (*Prosopis spp*)¹. Este árbol, junto al chañar (*Geoffroea decorticans*, son los de mayor utilidad y crecen a lo largo de toda la margen oriental del salar. Se han identificado cuatro formaciones vegetacionales en la cuenca: Estepa Altoandina, Estepa Arbustiva Pre-Puneña, Desierto de la cuenca superior del río Loa, Desierto del Salar de Atacama.

De acuerdo con la información el Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres según Estado de Conservación (RCE) vigente estas especies estarían en las siguientes categorías de conservación:

Tabla 4-1. Categorías de conservación para las especies del género *Prosopis*

Nombre científico	Nombre Común	Habito	Origen	Distribución en Chile	Categoría de conservación vigente
<i>Prosopis alba</i>	algarrobo del norte, algarrobo blanco, algarrobo de Canchones, llaro	Arbóreo	Nativa	XV-II	Preocupación menor
<i>Prosopis chilensis</i>	algarrobo, algarrobo de Chile, algarrobo del centro, árbol blanco, algarrobo blanco, Coile	Arbóreo	Nativa	XV-I, III-VI	Vulnerable
<i>Prosopis flexuosa</i>	tamarugo enano, algarroba, algarrobo	Arbóreo	Nativa	I-IV	Vulnerable
<i>Prosopis strombulifera</i>	retortón, fortuna, espinillo, mastuerzo, algarrobilla	Arbustivo	Nativa	I, III-V, VI	Preocupación menor
<i>Prosopis tamarugo</i>	tamarugo	Arbóreo	Endémica	I-II	En Peligro

¹ De acuerdo con la literatura, para el área de estudio se ha descrito la presencia del género *Prosopis*. Sin embargo, generalmente se hace alusión al género *Prosopis* sin identificar la especie o bien se menciona el nombre común Algarrobo. De acuerdo con los antecedentes recopilados por este equipo, las especies del género presentes en el área de estudio corresponden a: *Prosopis alba*, *Prosopis chilensis*, *Prosopis flexuosa*, *Prosopis strombulifera* y *Prosopis tamarugo*.

5 METODOLOGIA

A continuación, se detalla la metodología de trabajo utilizada para el cumplimiento de los objetivos específicos descritos anteriormente

5.1 Identificación y caracterización de los subsistemas ecológicos presentes en la cuenca del Salar de Atacama

11

Se realizó la identificación y caracterización de los subsistemas de la cuenca del Salar de Atacama, los subsistemas identificados fueron los de flora y vegetación y el subsistema acuático. Cabe destacar que la cantidad y la calidad de los datos que permitieron realizar esta caracterización difieren entre subsistemas y los análisis posteriores que se pueden realizar. En este sentido, los subsistemas ecológicos de flora y vegetación pudieron ser descritos en cuanto a su composición florística y estructura únicamente con la información disponible. Por el contrario, con los datos de los subsistemas acuáticos, a pesar de los gaps de información, fue posible realizar análisis posteriores de tipo comparativo, a escala espacial y temporal.

5.1.1 Caracterización de los subsistemas ecológicos de flora y vegetación

Los subsistemas ecológicos de flora y vegetación son aquellos definidos como flora y vegetación azonal y zonal. Donde la flora y Vegetación Zonal es la que dependiente de las condiciones climáticas dominantes (Luebert & Pliscoff, 2006). En cambio, la flora y vegetación Azonal es la que está asociada a factores locales, específicamente a la presencia permanente de humedad o anegamiento constante (Ahumada & Faúndez, 2007). Dentro de estos subsistemas se pueden considerar diferentes hábitats como los que se enumeran a continuación. La definición de cada uno se encuentra en el informe denominado Hito 2 del presente estudio:

Subsistema vegetación azonal

1. Subsistema bofedal
2. Subsistema vega salina
3. Subsistema vega no salina
4. Subsistema ripariano no salino

Subsistema vegetación zonal

1. Subsistema matorral bajo desértico tropical andino de *Atriplex imbricata* y *Acantholippia deserticola*
2. Subsistema matorral bajo desértico tropical interior de *Adesmia atacamensis* y *Cistanthe salsoloides*
3. Subsistema matorral bajo tropical andino de *Adesmia frigida* y *Stipa frigida*
4. Subsistema matorral bajo tropical andino de *Artemisia copa* y *Stipa frigida*
5. Subsistema matorral bajo tropical andino de *Fabiana bryoides* y *Parastrephia quadrangularis*
6. Subsistema matorral bajo tropical andino de *Fabiana denudata* y *Chquiraga atacamensis*

7. Subsistema matorral bajo tropical andino de *Fabiana squamata* y *Festuca chrysophylla*
8. Subsistema matorral bajo tropical andino de *Mulinum crassifolium* y *Urbania pappigera*
9. Subsistema matorral desértico tropical interior de *Atriplex atacamensis* y *Tessaria absinthioides*

El detalle y definición de cada uno de estos subsistemas se encuentra en el acápite de Resultados en la sección 6.1.1.2 Subsistema ecológico: vegetación azonal y 6.1.1.3 Subsistema ecológico: vegetación zonal.

12

5.1.2 Caracterización de los subsistemas acuáticos

Para realizar la caracterización de los distintos subsistemas acuáticos, considerando los componentes bióticos y abióticos, se revisó información disponible de la carpeta “Publicaciones e Información del Salar de Atacama”, recopilada para el presente estudio. La información incluye la data de líneas base y seguimientos ambientales elaborados por distintos autores y periodos en el Salar de Atacama, y se detalla en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1: Detalle de información bibliográfica revisada para la caracterización biótica y abiótica del Salar de Atacama

Autor o Consultor	Mandante	Publicación	Realización de muestreo	Laguna o Sistema estudiado
De los Ríos-Escalante & Salgado	n/a	De los Ríos-Escalante & Salgado (2012)	1996	Laguna Tebenquiche
Igsa Consultores	SQM Salar S.A	Igsa Consultores y SQM Salar S.A (2004)	octubre 2004	Sistema Aguas de Quelana
Gestión Ambiental Consultores	Rockwood Lithium	CEA (2015)	septiembre 2008	Sistema La Punta-La Brava Sistema Peine
Gestión Ambiental Consultores	Sociedad Chilena del Litio Ltda.	Sociedad Chilena de Litio Ltda (2009)	abril 2009	Laguna La Brava Sistema Peine
AT-EME S.A	Rockwood Lithium	CEA (2015)	septiembre 2013	Sistema La Punta-La Brava Sistema Peine Laguna Barros Negros Aguas de Quelana
GESAM Consultores ambientales	Rockwood Lithium	CEA (2015)	abril 2014	Sistema La Punta-La Brava Sistema Peine Laguna Barros Negros Laguna Chaxa Aguas de Quelana
GESAM Consultores ambientales	Rockwood Lithium	CEA (2015)	julio 2014	Sistema La Punta-La Brava Sistema Peine Laguna Barros Negros Laguna Chaxa Aguas de Quelana
Centro de Ecología Aplicada	Rockwood Lithium	CEA (2015)	enero 2015	Sistema La Punta-La Brava Sistema Peine Laguna Chaxa Aguas de Quelana

Autor o Consultor	Mandante	Publicación	Realización de muestreo	Laguna o Sistema estudiado
Golder Associates	Minera Escondida	Golden Associates (2017)	verano-2015	Sistema La Punta-La Brava
				Vegas de Tilopozo
Golder Associates	Minera Escondida	Golden Associates (2017)	otoño-2015	Sistema La Punta-La Brava
				Lagunas vecinas de tilopozo
Golder Associates	Minera Escondida	Golden Associates (2017)	invierno-2015	Vegas de Tilopozo
				Sistema La Punta-La Brava
Golder Associates	Minera Escondida	Golden Associates (2017)	primavera-2015	Lagunas vecinas de Tilopozo
				Vegas de Tilopozo
Golder Associates	Minera Escondida	Golden Associates (2017)	verano-2016	Sistema La Punta-La Brava
				Lagunas vecinas de tilopozo
				Vegas de Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia

5.1.3 Comparación espacial entre los subsistemas acuáticos estudiados

Se realizó la comparación espacial entre los subsistemas: Aguas de Quelana, Lagunas La Punta – La Brava, Tilopozo, Soncor, Peine y se incluyó la Laguna Tebenquiche, utilizando dos tipos de análisis estadísticos.

De este modo, las similitudes entre subsistemas, así como entre las distintas fechas, y utilizando la composición de los tapetes microbianos y la composición y abundancia del fitobentos, fitoplancton, zoobentos, zooplancton y plantas vasculares acuáticas, fueron calculadas con base en dos índices.

- El índice de Jaccard (presencia y ausencia de *taxa* de los tapetes microbianos) según la siguiente ecuación (Magurran, 1988):

$$CCj = \frac{c}{s_1 + s_2 - c}$$

Donde: s_1 y s_2 = número de especies en los conjuntos 1 y 2, respectivamente; c = número de especies comunes a ambas muestras CCj varía entre 1 (completa similitud) y 0 (sin elementos compartidos).

- El índice de Bray–Curtis que se considera como una medida de la diferencia entre la composición y abundancia (densidad) de cada especie presente (Brower & Zar, 1984), y se expresa mediante:

$$I_{BC} = 1 - \frac{\sum (x_i - y_i)}{\sum (x_i + y_i)}$$

Donde: x_i = abundancia o densidad de especies i en un conjunto 1; y_i = abundancia de las especies en el otro.

A partir de la matriz de similitud/disimilitud calculada se obtuvo un diagrama de ordenación a través de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS, *Non-metric dimensional scaling*). Tal análisis de ordenación permite observar que tan similares o disímiles son los grupos de flora y fauna acuáticos analizados, respecto a su composición y abundancia como conjunto entre los distintos sitios estudiados (en este caso las lagunas). Las aplicaciones de ambos índices de similitud se calcularon con base en algoritmos de unión simple. Para ambos análisis y para los NMDS se utilizó el software estadístico PRIMER Demo (*Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research*) Versión 6.1.13.

La representación gráfica de la distribución de los valores medios de riqueza, sus cuartiles y sus respectivas desviaciones estándar para cada sistema analizado, se realizó mediante la confección de modelos Boxplot (Frigge, Hoaglin, & Iglewicz, 1989).

Por otra parte, se comparó la composición, riqueza y abundancia de los distintos componentes de análisis (fitobentos, fitoplancton, zoobentos, zooplancton y plantas vasculares acuáticas) entre los distintos sistemas del Salar de Atacama mediante una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para probar si los datos vienen de la misma población o no, posteriormente se aplicó una prueba pareada de Mann-Whitney para evaluar la heterogeneidad de las muestras comparadas (Magurran, 1988). Se utilizaron pruebas no paramétricas debido a que los datos no cumplen con las pruebas de normalidad o de estadística paramétrica, sin embargo, las pruebas utilizadas son ampliamente aceptadas y robustas para establecer diferencias estadísticamente significativas.

5.2 Elaboración y sistematización de bases de datos del Modelo Conceptual Ecológico

Con la información recabada y utilizada para la caracterización de los subsistemas acuáticos (Tabla 5-1), se elaboró una base de datos que incluyó todos los registros ambientales levantados desde 1996 (principalmente desde 2013 en adelante) de los subcomponentes bióticos y abióticos de ecosistemas acuáticos, como las densidades por estación y campaña de la biota acuática y los registros por estación y campaña de variables abióticas (conductividad, temperatura, etc.)

Se ordenó y sistematizó dicha información en una planilla de cálculo excel, generando una base de datos que incluyó la numeración de identificación (ID) correspondientes a la carpeta y documento guardados en Dropbox de donde se obtuvo la información, a que subsistema pertenece el registro, el sector, estación, componente que corresponde, fecha, época del año, autor o autores, título de documento, atributo, si aplica categoría de conservación, a que variable y parámetro medido o estimado corresponden, unidad de medición, coordenadas UTM del registro, si incluye metodología y totales por estación. También se generó un código único por registro, que concatena el nombre de laguna, estación de muestreo, estación o mes del año, año y nombre del documento de donde se obtuvo el registro o dato.

Los datos recopilados se registran desde la primavera del año 1997 hasta el verano del año 2016. La estructura de la base de datos cuenta con 543.876 celdas que potencialmente podrían constituir entidades o atributos. No obstante, del total de potenciales atributos el 54% de ellos corresponden a sin información (s/i) y no aplica (n/a). Por tanto, existe un 46% de datos que, dependiendo de su calidad, constituyen el pilar de análisis de la base de

datos. Dada la cantidad de registros que presenta la base de datos generada, se resumen los resultados en tablas dinámicas presentes en el Anexo A.

5.3 Formulación de un modelo ecológico conceptual de la Cuenca del Salar de Atacama, contemplando los componentes, subcomponentes, interacciones y procesos, al igual que los distintos tipos de variables consideradas

15

Continuando con lo realizado en hitos anteriores, se realizaron en primera instancia un trabajo de modelación participativa, donde los integrantes del equipo multidisciplinario de especialistas que está desarrollando el presente proyecto, identificaron los componentes, subcomponentes, variables, procesos e interacciones relevantes para estructurar de manera preliminar un modelo ecológico conceptual del ecosistema de la cuenca del Salar de Atacama.

Tal ejercicio se llevó a cabo en sesiones de taller, donde un coordinador especialista en modelos conceptuales y matemáticos orientó al resto de especialistas para identificar los componentes, subcomponentes e interacciones del ecosistema de la cuenca del Salar de Atacama (**Figura 5-1**). La interrelación y discusión entre los distintos enfoques y participantes de la mesa de trabajo, sumado a técnicas de lluvia de ideas o *brainstorming* (ver Marín et al., 2008), permitió como primera aproximación, elaborar un mapa conceptual con módulos relacionados entre sí (**Figura 5-2**). Cabe mencionar que la modelación participativa ha sido usada exitosamente en la generación de modelos conceptuales de sistemas socioecológicos complejos (Delgado & Marín, 2005; Heemskerk et al., 2003).

Posterior a este ejercicio y para abordar los objetivos planteados en el presente informe, se seleccionaron, definieron y justificaron cuáles eran los componentes bióticos y abióticos de relevancia a considerar para la formulación del modelo conceptual. Los componentes bióticos incluyen los organismos animales y vegetales que estructuran el ecosistema. Por su parte, los componentes abióticos incluyen tanto las variables hidrológicas e hidrogeológicas forzantes, como las variables fisicoquímicas presentes en el ecosistema.

Junto con esto, se definieron cuáles son los procesos presentes y de relevancia a considerar para la formulación del modelo conceptual. De este modo se definieron las interacciones entre los componentes seleccionados previamente y se identificó la condición de la relación, indicando la dirección (emisor-receptor o bidireccional) y la dimensión (mayor o menor orden) de la interacción respecto de otras. Esto se realizó como base para el análisis y comprensión del modelo sin la utilización de parámetros numéricos. En el presente informe, los diferentes subcomponentes fueron validados mediante consulta a la literatura disponible, permitiendo así contar con una primera base de conocimiento científico sistemático para representar la diversidad de la cuenca del Salar de Atacama. En aquellos casos en que no se contó con información disponible en publicaciones o artículos científicos, se recurrió a documentos técnicos o juicio experto.

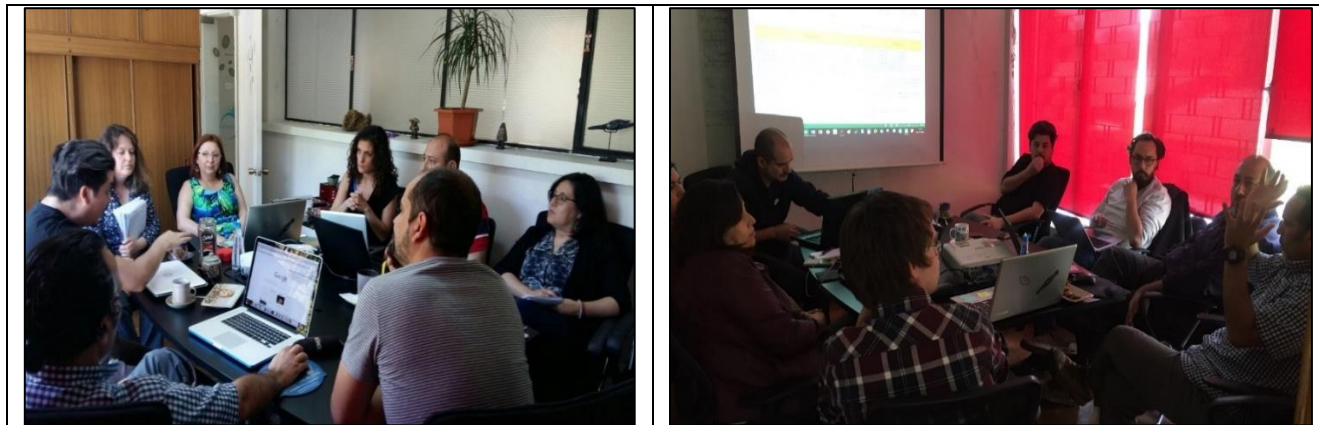


Figura 5-1: Talleres de trabajo de especialistas para modelación participativa



Figura 5-2: Mapas conceptuales preliminares elaborados en taller de trabajo

5.4 Representación formal y gráfica el Modelo Conceptual Ecológico

La representación formal del modelo conceptual ecológico se llevó a cabo mediante una matriz de adyacencia. Esta define los distintos subcomponentes para cada grupo de componentes, estableciendo las relaciones de tipo causal entre distintos pares de subcomponentes, que denominaremos “interacción” cuya notación será causal entre distintos pares de subcomponentes, que denominaremos “interacción” cuya notación será “SCij x SCij”, siendo i el subíndice asociado al subcomponente i-ésimo del componente j-ésimo. . Así, la interacción entre dos subcomponentes se operacionalizó mediante una variable binaria “Y” que indica la dirección de la relación entre un subcomponente y otro.

17

Se asignó un 0 a aquella relación en donde no existe efecto de un componente a otro y 1 cuando existe efecto. Además, se clasificaron los tipos de interacciones, considerando aquellas que correspondían a interacciones bióticas como depredación, competencia, simbiosis, mutualismo o parasitismo. Adicionalmente, en aquellos casos en que se verifica un impacto de un componente o variable abiótica sobre un componente biótico, esta se categorizó como el efecto de una condición abiótica. Finalmente, se consideraron las interacciones en que una especie o subcomponente provee hábitat para otra especie o subcomponente, representándolas como un caso de comensalismo. Estas son importantes, pues definen impactos indirectos a través de la matriz de especies del ecosistema del Salar de Atacama. El detalle de las interacciones posibles a considerar en el modelo ecológico se lista en la sección 4.5.

Cabe señalar que en esta etapa algunos de los expertos indicaron relaciones de subcomponentes con ellos mismos. Esto reflejó competencia al interior de un gremio o ensamble, depredación intra-gremios, canibalismo o bien mutualismos o simbiosis entre grupos funcionales que componen cada subcomponente biótico. Esta metodología permitió contar con un primer modelo ecosistémico, que debe ser validado en esta instancia por el equipo consultor. Ello permitió incorporar enlaces o corregir aquellos que se consideren inválidos o sin sustento empírico.

Finalmente, una vez completada la matriz de adyacencia, esta se representó mediante el módulo “igraph” de la plataforma de computo R. Este representa cada subcomponente como un nodo, y cada interacción donde la relación tiene un valor de 1, se representa como un vértice o línea que conecta dos nodos. De esta forma, se logra obtener una representación o salida gráfica del modelo conceptual, cuyo resultado se puede encontrar en la sección 6.3 sobre formulación del modelo conceptual ecológico.

5.5 Matriz de interacciones entre componentes y subcomponentes

Se generó a través de juicio experto y bibliografía adecuada una matriz de interacciones intra e interespecíficas, hábitats y factores físicos y químicos que pudieran estar influyendo entre subcomponentes y componentes biológicos de los sistemas terrestres y acuáticos considerados en el estudio, esto es: tapetes microbianos; microalgas bentónicas y planctónicas; zoobentos y zooplancton; plantas vasculares acuáticas; calidad del agua y factores físicos ambos asociados al hábitat. La bibliografía utilizada para esta actividad se resume en la siguiente lista:

- Rockwood Lithium Ltda. (2016). Informe Consolidado de la Evaluación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto “EIA Modificación y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama.” Retrieved from https://www.e-seia.cl/archivos/ICE_barrancones_v_final.pdf
- Salas, J., Guimerà, J., Cornellà, O., Aravena, R., Guzmán, E., Tore, C., Moreno, R. (2010). Hidrogeología del sistema lagunar del margen Este del Salar de Atacama (Chile). Boletín Geológico Y Minero, 121(4), 357–372. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3340751>
- Farias M.E., Contreras M. Rasuk M. C., Kurth D, Flores M, Poire D.G, Novoa F., Visscher P. T. (2013). Characterization of bacterial diversity associated with microbial mats, gypsum evaporites and carbonate microbialites in thalassic wetlands: Tebenquiche and La Brava, Salar de Atacama, Chile.
- Wetzel R.G. & Likens, G., 1991. Limnological Analyses 2nd ed., New York, USA: Springer-Verlag.
- Stevenson R. J., Bothwell M. L., Lowe R. L., & Thorp J. H. (1996). Algal ecology: Freshwater benthic ecosystem. Academic press.
- Farías M. E., Rasuk M. C., Gallagher K. L., Contreras M., Kurth D., Fernandez A. B., Poiré D., Novoa F. & Visscher, P. T. (2017). Prokaryotic diversity and biogeochemical characteristics of benthic microbial ecosystems at La Brava, a hypersaline lake at Salar de Atacama, Chile. PloS one, 12(11).
- Demergasso C., Chong G., Galleguillos P., Escudero L., Martínez-Alonso M., & Esteve I. (2003). Tapetes microbianos del Salar de Llamará, norte de Chile. Revista chilena de historia natural, 76(3), 485-499.
- Amin S. A., Parker M. S., & Armbrust E. V. (2012). Interactions between diatoms and bacteria. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 76(3), 667-684.
- Bagatini I. L., Eiler A., Bertilsson S., Klaveness D., Tessarolli L. P., & Vieira A. A. H. (2014). Host-specificity and dynamics in bacterial communities associated with bloom-forming freshwater phytoplankton. PLoS One, 9(1), e85950.

A continuación, se detalla en la Tabla 4-2 el listado de las interacciones consideradas en el marco del modelo ecológico conceptual de la Cuenca del Salar de Atacama.

Tabla 5-2: Componentes y subcomponentes del modelo ecológico conceptual de la Cuenca del Salar de Atacama

Tipo de Interacción	Interacción	Impactos cualitativos
Biótica	Competencia	[- ; -]
	Depredación (incluye la Herbivoría y Granivoría)	[+ ; -]
	Mutualismo (p.ej. Polinización o Simbiosis)	[+ ; +]
	Comensalismo (efectos positivos del Hábitat o efectos positivos de condiciones)	[0 ; +]
	Amensalismo (efectos negativos de condiciones)	[0 ; -]
Abiótica	Efecto de condiciones o variables abióticas	[-,0,+]

5.6 Identificación de los principales procesos ecológicos presentes en el salar de Atacama, considerando sus dimensiones temporales y espaciales

Los ecosistemas contribuyen al bienestar humano a través de la provisión de bienes y servicios donde los beneficios son directos, como en la producción de alimentos y materias primas, e indirectos como es el caso en la regulación de la calidad y el suministro de agua (Banerjee et al. 2013). El sustento de estos servicios es un conjunto de funciones ecológicas que deben ser comprendidas para gestionar y mejorar la provisión de servicios ecosistémicos (Bennett et al. 2009; Banerjee et al 2013). En ese sentido, los procesos ecológicos que sustentan tanto la función ecosistémica como la provisión de servicios ecosistémicos por parte de la biodiversidad de un paisaje dado son muy variados. Estos pueden incluir procesos climáticos, los regímenes de perturbación natural, la productividad primaria, procesos hidrológicos, la formación de hábitats biofísicos, las interacciones entre especies, y los movimientos de organismos y su uso de recursos y hábitats.

19

Para llevar a cabo la identificación de los principales procesos ecológicos presentes en el Salar de Atacama se realizó una búsqueda bibliográfica, registrando los hallazgos de los modelos conceptuales disponibles para el Salar de Atacama o sistemas comparables. Estos permitieron identificar el estrés hídrico y aporte de agua como uno de los factores principales. Por ello, se procedió a evaluar la disponibilidad de información geográfica y de series de tiempo para poder caracterizar la variabilidad espacial y temporal de procesos como la precipitación, y de ambientes como los ecosistemas lacustres. Para ello, se revisó la literatura técnica disponible, en busca de información correspondiente a series de tiempo. En la mayoría si no en la totalidad de los casos, la información disponible fue muy fragmentaria, siendo representada como resúmenes estadísticos o gráficos. Por ello, en algunos casos particulares, se procedió a la digitalización de series de tiempo y posterior análisis para obtener series de tiempo mensuales. Ello permitió identificar las escalas de variación, utilizando para ello análisis de frecuencias mediante una transformación de Fourier. Este procedimiento permite, para series de tiempo estacionarias, identificar las frecuencias o periodos que dan cuenta de la mayor variabilidad en la variable estudiada. Otras alternativas, como el uso de Wavelets, o análisis de escalamiento requieren de series de tiempo de mayor duración, y un conjunto de datos de mayor volumen. Estas frecuencias temporales fueron luego complementadas con las escalas espaciales inferidas a partir de información cartográfica o mediciones reportadas en la literatura.

Por otra parte, el análisis de la cobertura de formaciones vegetacionales generado en la caracterización del subsistema flora y vegetación permitió identificar las áreas cubiertas por formaciones como Bofedales, Vegetación Azonal, Vegetación riparina y Matorrales. Para cada una de estas formaciones vegetacionales se caracterizaron las áreas estimadas de acuerdo con la cartografía generada., calculando la escala lineal característica como la raíz cuadrada de estas. La información disponible para el área de estudio no permitió contar con estimaciones de series de tiempo en cobertura de todas estas formaciones vegetacionales. Por ello, para las formaciones vegetacionales más pequeñas, se imputaron escalas de variación de 7 a 8 años, que corresponden a las periodicidades más rápidas de variación en precipitación, estimadas mediante el análisis espectral de la serie de tiempo de precipitación. Por otra parte, para las formaciones vegetacionales de mayor extensión (como los Matorrales), se analizó la serie de tiempo de precipitación, obteniendo la periodicidad dominante, que corresponde a una escala de variación de 16 años.

En particular, se revisó la literatura especializada disponible sobre distintos aspectos de la biología y ecología de flamencos, considerando las tres especies descritas para el salar *Phoenicoparrus andinus*, *Phoenicoparrus jamesi* y *Phoenicopterus chilensis*. Adicionalmente, se revisó la literatura para identificar información disponible para procesos ecológicos de otras especies de micro y macro mamíferos presentes en esta cuenca. Para estas especies se recabó información disponible respecto la alimentación, movimiento en el ámbito de hogar, nidificación y migración, ya sea en base a literatura, o basado en juicio experto. Ello permitió identificar el rango de escalas de espacio y tiempo característicos para los principales procesos ecológicos asociados a estas especies en la cuenca del Salar de Atacama. Los datos para realizar estos análisis se encuentran en el Anexo E.

En particular, se estimaron las escalas de tiempo y espacio correspondientes al ámbito de hogar de las especies de mamíferos descritas para la cuenca del Salar de Atacama, al igual que para el Surí. Ello se realizó en base a los pesos corporales descritos en la literatura, utilizando las ecuaciones alométricas descritas por Tamburello et al. (2015). Estas ecuaciones entregan un valor estimado de ámbito de hogar (HR) en función del tamaño corporal medido como peso (M). Así, $HR = a M^{b1}$, con el exponente $b1$ tomando valores específicos dependiendo del tipo de grupo funcional y taxón correspondiente a una especie. Esta aproximación permitió estimar los ámbitos de hogar para el Guanaco y la Vicuña, ambos camélidos herbívoros de gran tamaño, al igual que para los micromamíferos descritos en la cuenca del Salar de Atacama: específicamente el Tuco tuco de Atacama, el Raton orejudo, la Marmosa pálida, el Ratón andino del altiplano y el Ratoncito de pie sedoso. También se estimó el ámbito de hogar para el Zorro chilla y el Zorro culpeo. Finalmente, para el Suri, se obtuvieron los valores descritos de ámbito de hogar a partir de la literatura citada en la ficha de especies del Ministerio de Medio Ambiente. Una vez estimados los ámbitos de hogar, se estimaron las escalas de tiempo asociadas a los ámbitos de hogar usando la aproximación descrita por Swihart et al (1988), que señalan que el tiempo requerido por un animal para recorrer el ámbito de hogar sigue una relación de escala del tipo $THR = 247 M^{b2}$, donde $b2$ toma valores entre 0,25 y 0,36, lo que entrega valores máximos y mínimos para la estimación de escalas de tiempo característica.

Por otra parte, se estimaron las escalas de tiempo y espacio asociadas a la migración de las especies de flamenco. Para ello, tomando como referencia la propuesta de Parada (1990) y Rodríguez Ramírez et al (1991) se estimaron las distancias y periodos de desplazamiento migratorio para cada una de las tres especies de flamencos: Flamenco andino, Flamenco chileno y el Flamenco de James. De esta forma se obtuvieron valores máximos y mínimos de desplazamiento para las distintas temporadas de migración (estival e invernal). Los datos para realizar estos análisis se encuentran en el Anexo E.

Tanto los componentes temporales como espaciales de la Cuenca del Salar de Atacama se representaron mediante diagramas de Stommel (Stommel, 1963). Los diagramas de Stommel permiten visualizar las escalas de espacio y tiempo de los procesos o estructuras que se desea caracterizar. De esta manera, permiten evidenciar las dimensiones y escalas de variación de variables y procesos de interés en un sistema ambiental. En el caso particular de la dinámica atmosférica, reflejan el proceso subyacente de traspaso de energía a través de las escalas, desde la escala global a la escala de milímetros y segundos. La consideración explícita de la dimensión espacial y su magnitud, permiten relevar los efectos dinámicos y espaciales de la correlación y efectos entre fenómenos. En este sentido, generalmente las escalas representadas abarcan varios órdenes de magnitud, como más de un proceso puede estar asociado con un patrón particular, pueden no ser siempre representadas por un único punto sino más bien por elipses o rectángulos que indica la combinación de escala espacio-tiempo particular del proceso o fenómeno que se desea representar. En la mayoría de los casos, las elipses se trazan en una posición oblicua para

indicar que las escalas espaciales más grandes están asociadas con escalas de tiempo más grandes. Algunos fenómenos atmosféricos u oceanográficos, notablemente turbulentos, se alinean de forma bastante lineal en los diagramas de Stommel, dado que sus relaciones de tamaño-duración se caracterizan por ser leyes de potencia. Una ley de potencia corresponde a una función matemática que relaciona dos magnitudes X e y mediante un exponente o potencia aplicado a la magnitud independiente (X). Así, la ley de potencia corresponde a la función $Y = aX^b$, donde la constante a corresponde a una constante de escala o normalización y el exponente o potencia b corresponde a la pendiente o forma de la relación potencial. La existencia de una relación de ley de potencia. Ello refleja el hecho que el mismo conjunto de mecanismos dinámico subyacen la variación observada a través de un rango de escalas. No obstante, pueden darse casos en que el proceso u objeto a representar no tenga una covariación entre las escalas espaciales o temporales, sino que presente una escala (espacial o temporal) acotada.

5.7 Análisis de los principales gradientes presentes en el Salar de Atacama, en base a la información disponible en los antecedentes recabados

5.7.1 Definición de Unidades Vegetacionales

A partir de la información oficial compilada y recogida en la plataforma del Sistema de Información Territorial de Humedales Altoandinos (SITHA), se utilizó la siguiente información espacial base:

- Unidades vegetación azonal (uni_veg_azonal_II).
- Pisos vegetacionales SINIA 2009 (pisosveg_sinia2009_SITHA_II).
- Vegas y bofedales (flora_muestra_II).

La composición de la información anterior se acotó espacialmente con el shapefile de cuenca del Salar de Atacama provista por la Dirección General de Aguas (DGA).

5.7.1.1 Pasos metodológicos

i. Estandarización

Las unidades de la capa de unidades vegetacionales azonales contiene polígonos suavizados y otros que fueron transformados a partir de un archivo ráster. Para suavizar los bordes rectos, se utilizó la herramienta Smooth polygon del software SIG utilizado, utilizando el algoritmo de suavización PAEK con una tolerancia de 50 m.

Esta misma capa presenta información de la formación presente en la unidad en su columna "Tipología". Sin embargo, dicha categorización no se aplica para todas las unidades. Por lo tanto, se completa la información asignando el valor "Vegetacional azonal" a las celdas vacías.

Con el fin de no perder información potencial relevante, las columnas que entregan información de las unidades (independiente de la capa) se mantienen en los pasos subsecuentes, a pesar de que no exista una coincidencia (celdas vacías) para todas ellas.

ii. Edición

Las unidades vegetacionales azonales que se encontraban espacialmente contenidas o cruzando parcialmente la capa de vegas y bofedales se incorporan a los polígonos de mayor tamaño, definidos a partir de los límites de la segunda capa y fotointerpretación, utilizando imágenes satelitales históricas de Landsat disponibilizadas por Google Earth Pro®, con fecha de diciembre de 2016.

Se revisan aquellos polígonos obtenidos a partir de información ráster de menor tamaño, debido a que su diagramación se realiza por métodos indirectos (posiblemente procesamiento de imágenes satelitales) y puede conducir a identificar formaciones donde no las hay o no reflejar fielmente la forma del parche de vegetación. Se contrasta con imágenes satelitales históricas, y en el caso de no existir coincidencia, se eliminan o corrige su forma.

iii. Integración de información

Para la construcción de una única capa de información de formaciones vegetacionales se construyó un mosaico con las capas de los pasos anteriores.

Se crea la columna “Subsistema” que da cuenta de las formaciones vegetacionales identificadas para cada capa; la columna “Zon_Azon” entrega información respecto de si la unidad corresponde a vegetación azonal o zonal; y la columna “Fuente” presenta la fuente de información de la capa. Esta integración se representó mediante cartografía localizada en el acápite de resultados, específicamente en la **Figura 6-7**.

5.7.2 Elaboración de mapa de Riqueza de Flora

El insumo principal para la elaboración de mapa de riqueza de flora es una base de datos de presencias de individuos georreferenciadas, construida a partir de las siguientes fuentes:

- Global biodiversity information facility (GBIF)²
- Base de datos del Herbario de la Universidad de Concepción.
- Sistema de Evaluación Ambiental (SEA)
- Proyecto Biota (CSW Consultores Ambientales)³

² GBIF es una infraestructura científica de datos abiertos (open-data) financiada por los gobiernos del mundo, y destinada a proporcionar a cualquier persona desde cualquier lugar del mundo, acceso a información sobre los seres vivos que habitan la Tierra.

³ Esfuerzo privado de CSW Consultores Ambientales destinado a la colecta, normalización, estandarización y disponibilización de registros georreferenciados de flora y fauna nativa.

La composición de la información anterior se acotó espacialmente con el shapefile de cuenca del Salar de Atacama provista por la Dirección General de Aguas (DGA).

5.7.2.1 Pasos metodológicos

23

i. Estandarización de Presencias

Una vez fusionadas las presencias provenientes de las diversas fuentes primarias se generó un proceso de detección y corrección de datos incorrectos o corruptos. El proceso se centró en homologar los nombres científicos de las especies presentes y eliminar las presencias que se encontraban duplicadas.

ii. Generación de Áreas de Agregación

Esta etapa tiene como finalidad crear entidades atributadas que se utilizan como áreas de agregación dentro del área de estudio, lo que permite contar con datos estadísticamente funcionales para ejecutar los procesos de cálculo de riqueza. Utilizando el criterio de distanciamiento de las presencias se determinó una grilla de 60x60 m. donde posteriormente se incorporó el número de individuos de diferentes especies presentes en cada una de las celdas.

iii. Creación de Mapa de Riqueza de Flora

La herramienta Kriging ajusta una función matemática a una cantidad especificada de puntos o a todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salida para cada ubicación. Es similar al de IDW ⁴ en que pondera los valores medidos circundantes para calcular una predicción de una ubicación sin mediciones.

Kriging es un proceso que tiene varios pasos, entre los que se incluyen, el análisis estadístico exploratorio de los datos, el modelado de semivariogramas, la creación de la superficie y (opcionalmente) la exploración de la superficie de varianza. Este método es más adecuado cuando se sabe que hay una influencia direccional o de la distancia correlacionada espacialmente en los datos⁵.

Así los datos agregados de riqueza son incorporados al algoritmo de interpolación, dando como resultado valores espaciales continuos de la riqueza.

5.8 Análisis de sensibilidad de humedales u otros subsistemas complejos

Para realizar el análisis de sensibilidad de humedales u otros subsistemas complejos se procedió a solicitar a cada grupo de consultores expertos que analizaran las amenazas que se pueden identificar para cada subsistema ecológico presente en el Salar de Atacama. Brevemente, la metodología empleada corresponde a la propuesta en los Estándares Abiertos para la Práctica de la Conservación de la Alianza para las Medidas de Conservación

⁴ Algoritmo que interpola una superficie de ráster a partir de puntos utilizando una técnica de distancia inversa ponderada (IDW)

⁵ Servicio de ayuda online ArcGIS® [<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>]

(*Conservation Measures Partnerships - CMP*) (Foundations of Success, 2009). Esta metodología permite, una vez identificados un conjunto de objetos u objetivos de conservación, identificar las amenazas directas, distinguiéndolas de los efectos de estrés ambiental. Posteriormente, para cada amenaza directa, se realiza una valoración y jerarquización del grado de amenaza, de manera de poder obtener una escala de ponderación de la vulnerabilidad del objeto de conservación correspondiente. Ello permite la evaluación de amenazas tomando en cuenta tanto la sensibilidad del sistema, como la extensión espacial de la amenaza, y su irreversibilidad. En este sentido, la clasificación de amenazas es un método para hacer más explícita esta evaluación implícita de las amenazas. Implica determinar y definir un conjunto de criterios y luego aplicar esos criterios sistemáticamente a las amenazas directas a los objetivos de conservación de un proyecto para que las acciones de conservación se puedan dirigir donde más se necesitan.

En este sentido, cabe destacar que las amenazas directas son principalmente actividades humanas que afectan inmediatamente a un objetivo de conservación. Estas pueden contemplar actividades extractivas (por ejemplo, pesca insostenible, caza) pero también actividades con impactos y externalidades ambientales como la extracción de petróleo, construcción de carreteras y contaminación. Otra amenaza importante para muchos ecosistemas es la introducción de especies exóticas invasoras. Adicionalmente a estos, las amenazas pueden corresponder a fenómenos naturales alterados por actividades humanas, como las alteraciones en temperatura y precipitación causada por el calentamiento global. También pueden ser fenómenos naturales (como sismos o subsidencia cosísmica) cuyo impacto se ve incrementado por actividades humanas. Una vez identificadas, las amenazas se jerarizaron en base a los siguientes criterios: Extensión, Gravedad e Irreversibilidad.

Alcance o extensión espacial: se define espacialmente como la proporción del objetivo que razonablemente se puede esperar que se vea afectada por la amenaza dentro de los diez años, dada la continuación de las circunstancias y tendencias actuales.

Para ecosistemas y comunidades ecológicas, usualmente se mide como la proporción de la ocurrencia del objetivo que se espera vea afectada. En el caso que el objeto de conservación sea una especie, puede ser medido como la proporción de la población que se espera sea afectada. Así, se utilizó una escala entre 1 y 4:

- 4 = Muy alto: es probable que la amenaza sea omnipresente en su alcance, afectando al objetivo en todo o en la mayoría (71-100%) de su ocurrencia / población.
- 3 = Alto: es probable que la amenaza esté extendida en su alcance, afectando al objetivo en gran parte (31-70%) de su ocurrencia / población.
- 2 = Medio: es probable que la amenaza esté restringida en su alcance, afectando al objetivo en algunos (11-30%) de su ocurrencia / población.
- 1 = Bajo: es probable que la amenaza sea muy estrecha en su alcance, afectando al objetivo en una pequeña proporción (1-10%) de su ocurrencia / población.

Severidad: dentro de la extensión espacial que abarca una amenaza, la severidad evalúa el nivel de daño al objetivo de la amenaza que razonablemente se puede esperar dada la continuación de las circunstancias y tendencias actuales. Para ecosistemas y comunidades ecológicas, generalmente se mide como el grado de destrucción o

degradación del objetivo dentro de la extensión de una amenaza dada. Para especies, generalmente se mide como el grado de reducción de la población objetivo dentro de la extensión espacial de la amenaza.

- 4 = Muy alto: dentro de la extensión espacial de la amenaza, es probable que la amenaza destruya o elimine el objetivo, o reduzca su población en un 71-100% en diez años o tres generaciones.
- 3 = Alto: dentro de la extensión espacial de la amenaza, es probable que la amenaza degrade / reduzca gravemente el objetivo o reduzca su población en un 31-70% en diez años o tres generaciones.
- 2 = Medio: dentro de la extensión espacial de la amenaza, es probable que la amenaza disminuya / reduzca moderadamente el objetivo o reduzca su población en un 11-30% en diez años o tres generaciones.
- 1 = Bajo: dentro de la extensión espacial de la amenaza, es probable que la amenaza solo reduzca o reduzca ligeramente el objetivo o reduzca su población entre un 1% y un 10% en diez años o tres generaciones.

Irreversibilidad: el grado en que se pueden revertir los efectos de una amenaza y restaurar el objetivo afectado por la amenaza, si la amenaza ya no existe.

- 4 = Muy alto: los efectos de la amenaza no se pueden revertir y es muy poco probable que el objetivo se pueda restaurar, y / o se necesitarían más de 100 años para lograr esto (por ejemplo, humedales convertidos al desarrollo inmobiliario o construcción de infraestructura).
- 3 = Alto: los efectos de la amenaza pueden revertirse técnicamente y restablecerse el objetivo, pero no es prácticamente asequible y / o se necesitarían entre 21 y 100 años para lograrlo (por ejemplo, cambio de uso de suelo de un humedal a la agricultura).
- 2 = Medio: los efectos de la amenaza se pueden revertir y el objetivo se puede restaurar con un compromiso razonable de recursos y / o dentro de 6-20 años (por ejemplo, abandono y drenaje del humedal).
- 1 = Bajo: los efectos de la amenaza son fácilmente reversibles y el objetivo puede restablecerse fácilmente a un costo relativamente bajo y / o dentro de 0 a 5 años (por ejemplo, tránsito de vehículos todoterreno que invadan el humedal).

Una vez jerarquizadas, las amenazas fueron integradas y resumidas en un único puntaje, que se promedia a su vez para entregar un valor final entre 1 y 4 para cada objeto de conservación.

Una vez obtenida la matriz de criterios, esto es, evaluar cada objeto de conservación para cada una de las distintas amenazas identificadas, basándose en su alcance, severidad e irreversibilidad para identificar su grado de impacto. Se procede a calcular la “magnitud de la amenaza” (alcance + severidad) y la “clasificación de la amenaza” (magnitud + irreversibilidad), obteniendo como resultado una tabla resumen (Tabla 5-3). Finalmente se discuten los resultados de la tabla resumen con el objetivo de corroborar la información previamente generada y evaluada.

Tabla 5-3: Ejemplo de tabla resumen de Matriz de Amenazas

THREATS	Blue billed ducks	Eucalyptus-Melaleuca woodlands	Fringing shrublands	Permanent (linear) lakes	Seasonally flooded wetlands	Summary Threat Rating
Overgrazing	Low		Medium		Low	Low
Pesticides from agriculture	High			Medium		Medium
Climate change (reduced rain)				Very High	Very High	Very High
Increased groundwater extraction				Low	High	Medium
Invasive weeds		Low			High	Medium
Clearing for residential & infrastructure	High	Very High	High		Very High	Very High
Illegal clearing by landowners	High	High			High	High
Summary Target Rating	High	High	Medium	High	Very High	Very High

Fuente: Foundations of Success. (2012). Step 1C Critical Threat Ranking. Foundations of Success. Bethesda Maryland, USA.

Si bien, esta metodología es similar a la utilizada en la evaluación de impactos ambientales de proyectos sometidos al Sistema de Evaluación Ambiental (donde se utilizan también indicadores para valorizar él o los impactos), la diferencia radica en que la metodología presentada busca establecer si un objeto de conservación (especie amenazada o un lugar que se desea proteger) está bajo amenaza alta, media o baja de continuar el escenario actual durante una ventana de 10 años. En el caso de la evaluación de impactos de proyectos de inversión, se busca determinar si un impacto en particular será significativo o no, dentro del área de influencia y debido al proyecto de inversión sometido a evaluación ambiental.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Caracterización de los subsistemas ecológicos presentes en la cuenca del Salar de Atacama

6.1.1 Caracterización de los subsistemas ecológicos de flora y vegetación (azonal y zonal)

27

6.1.1.1 Subsistema ecológico: Flora

Para la cuenca del salar de Atacama se han registrado 357 especies de flora. Los nombres científicos, origen, hábito, forma de vida para las especies nativas siguen a Rodríguez (2018 en preparación), mientras que para las especies introducidas se siguió a Zuloaga et al. (2008). De las 357 especies descritas 22 especies no fueron consideradas debido a cambios nomenclaturales que incluyen su sinonimia a especies ya descritas para la cuenca o bien a que su presencia no se encuentra aceptada para el país (Rodríguez 2018 en preparación, Zuloaga et al. 2008).

La riqueza taxonómica de la cuenca se traduce en 335 especies pertenecientes a 174 géneros y 54 familias. Las familias más representadas en términos del número de especies corresponden a Asteraceae con 85 especies y Poaceae con 48 especies, sin embargo, la mayor parte de las familias poseen muy pocos representantes en la cuenca (Figura 6-1), condición que se repite a nivel de género (Figura 6-2). En el Anexo A se encuentra el detalle de la información que permitió desarrollar la Figura 6-1 y la Figura 6-2.

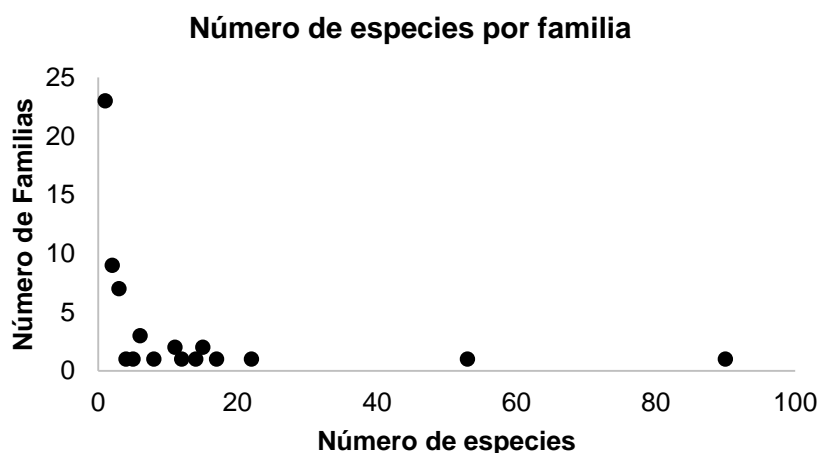


Figura 6-1 Representación de las especies por familia en la cuenca

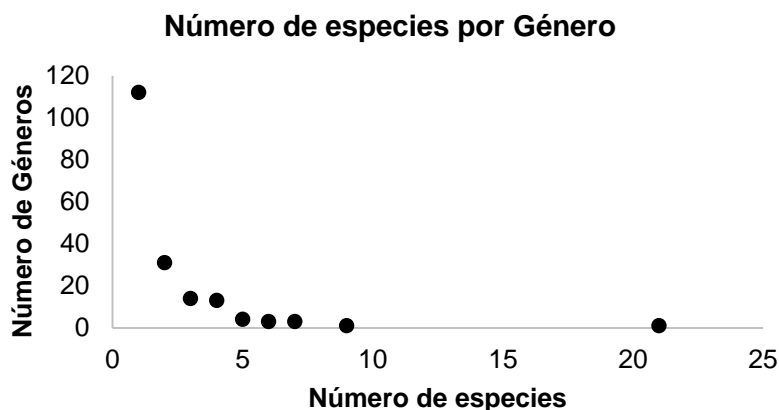


Figura 6-2 Representación de las especies por género en la cuenca

De acuerdo con el origen de las especies registradas para la cuenca, el 87% son nativas (siendo un 13% de estas últimas catalogadas como endémicas para el país), mientras que el 12,8 % del total corresponden a especies introducidas. La mayor parte de las especies nativas y endémicas corresponden a especies perennes, en cambio, en el caso de las especies introducidas tanto anuales como perennes son igualmente frecuentes (Tabla 6-1)(Figura 6-3). El detalle de la información que permite sistematizar los resultados se encuentra en el Anexo A.

Tabla 6-1: Especies según su origen y ciclo de vida

Origen	Ciclo de Vida					
	Anual		Perenne		Total	
	N° spp	%	N° spp	%	N° spp	%
Adventicia	21	49	22	51	43	13
Endémica	12	27	32	73	44	13
Nativa	57	23	191	77	248	74
Total	90	27	245	73	335	100

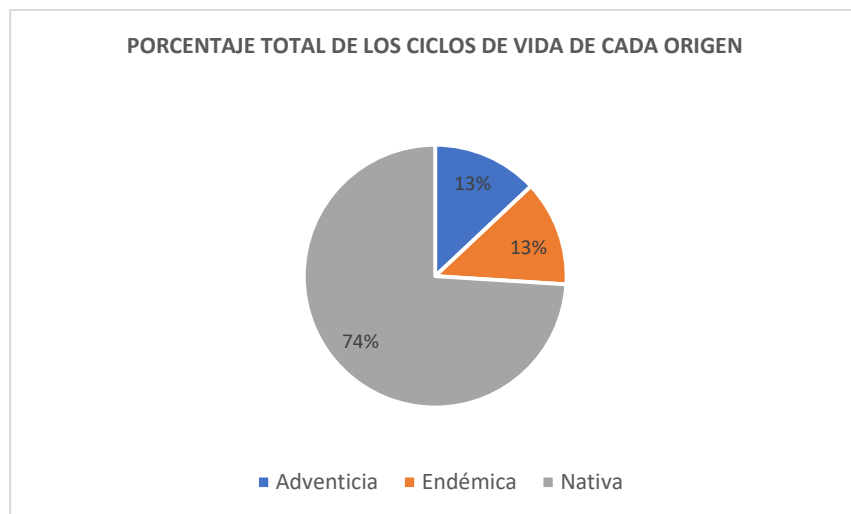


Figura 6-3. Porcentaje total de los ciclos de vida (Anual y Perenne) en cada origen (Adventicia, Endémica y Nativa) según la Tabla 6-1

En relación con el hábito, las hierbas son el componente más importante tanto para el elemento nativo como introducido (Tabla 6-2). Representantes de Árboles y suculentas están presentes en las especies nativas y endémicas, mientras que este hábito está ausente en las especies introducidas. A partir de los datos, es posible asumir que árboles y suculentas no se presentan de manera dominante en la cuenca, ya que la mayor parte de las especies que definen las formaciones vegetales corresponden a especies arbustivas (ver dominancia de especies de las formaciones vegetales de la Cuenca del Salar de Atacama) (Figura 6-4)

Tabla 6-2: Especies según su hábito y origen

Origen	Hábito										N° spp	
	Árbol	%	Arbusto	%	Hierba	%	Subarbusto	%	Suculenta	%		
Adventicia	0	0	2	4,7	39	90,1	2	4,7	0	0	43	13
Endémica	1	2,3	13	29,5	23	52,2	6	13,6	1	2,3	44	13
Nativa	6	2,4	44	17,7	174	70,1	20	8,1	4	1,6	248	74
Total	7	3	59	18	236	70	28	8	5	1	335	100

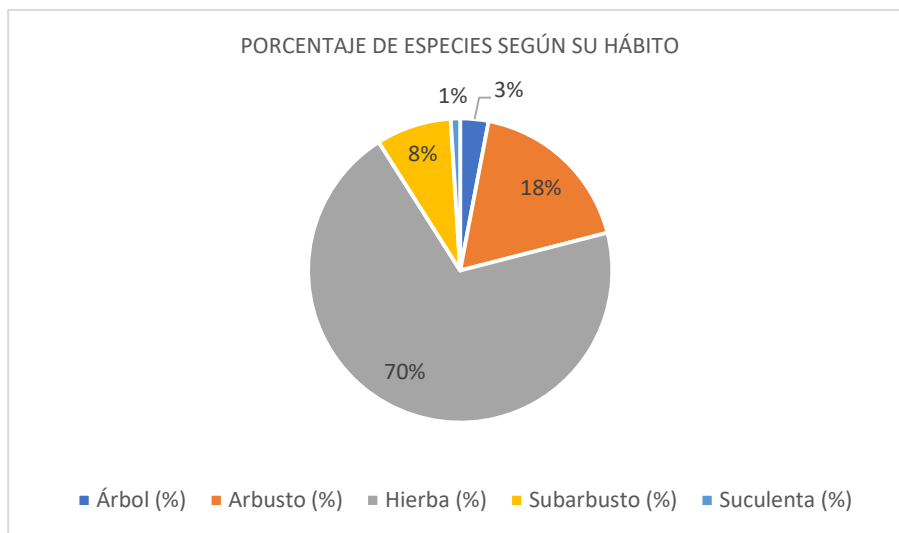


Figura 6-4. Porcentaje total de las especies según su hábito según la Tabla 6-2

A partir de los registros considerados, no es posible asumir que la flora de la cuenca del Salar de Atacama se encuentre adecuadamente conocida. En este sentido la curva de rarefacción de especies (construida a partir de la totalidad de registros recopilados para la Cuenca), no llega a la estabilidad (Figura 6-5). Es necesario mencionar que en cuanto a la flora de la Cuenca del Salar de Atacama los datos, estudios y antecedentes son escasos o se encuentran desactualizados. Los especímenes depositados en el Herbario CONC datan de 1931 (Figura 6-6), y junto con los antecedentes de diversas fuentes bibliográficas y bases de datos se reportan alrededor de 1900 colectas para aproximadamente 360 taxa de origen nativo y alóctono. De estos registros cerca del 40 % no posee información de la fecha de colecta, no posee un registro geográficamente explícito o posee una antigüedad mayor a 30 años (Figura 6-6). Esto queda de manifiesto en la escasez de publicaciones (en revistas, libros o publicaciones técnicas) que aborden de manera explícita la distribución, caracterización de la flora y vegetación de la Cuenca del Salar de Atacama.

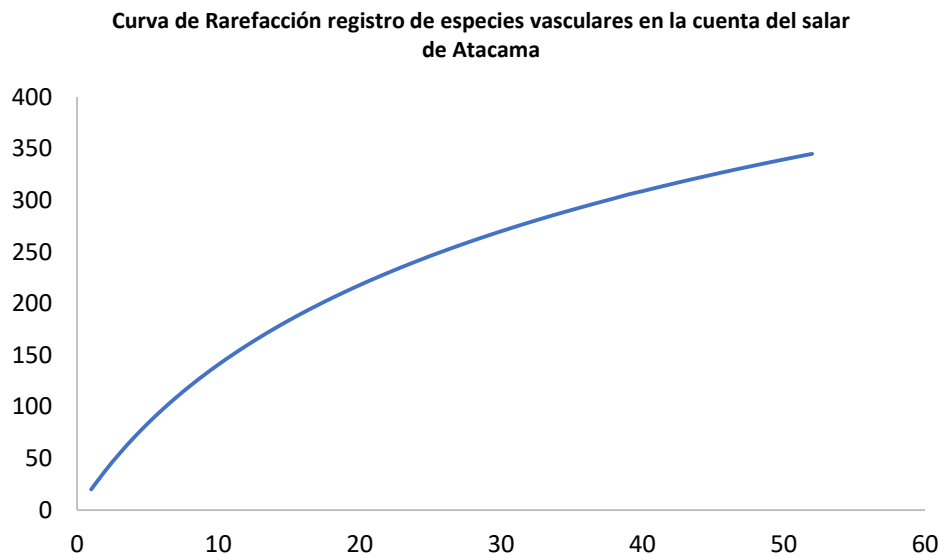


Figura 6-5. Curva de rarefacción⁶ de especies considerando la totalidad de registros recopilados para el presente estudio.

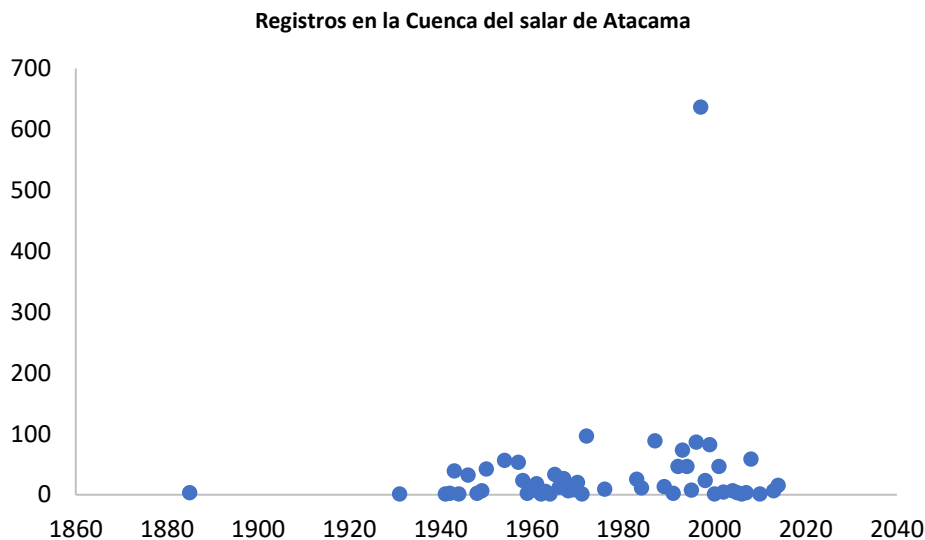


Figura 6-6: Registros de especies vasculares registrados en la Cuenca del Salar de Atacama.

⁶ La rarefacción es un método que fue propuesto para comparar el número de especies cuando las muestras difieren en tamaño. Estima a la riqueza de especies en función del tamaño de muestra más pequeño y permite cuantificar el esfuerzo de muestreo en un área determinada; Para esto a partir de las muestras se dibuja una curva que en el caso de existir un buen esfuerzo de muestreo debería llagar a una asíntota de acuerdo con el número de especies identificadas.

Siguiendo los antecedentes de colecta de especies para la zona (a partir del registro de antecedentes de especímenes de herbarios o registros en las bases de datos consideradas en este estudio), ninguno de los estudios/colectas en el área, realizado por diversos investigadores en el área de estudio se tradujo en trabajos o publicaciones que permitan ser utilizados para la caracterización de los componentes al interior de la cuenca (Tabla 6-3).

En relación con la vegetación de la cuenca los trabajos que abordan la caracterización de la vegetación de la zona de manera integral son Gajardo (1994) y Luebert & Pliscoff (2006) (Alfaro y Faúndez 2010 se centran en la descripción de solo parte de las unidades presentes al interior de la cuenca). No obstante, la escala geográfica en la que operan estas publicaciones, y la no corroboración en terreno de estas no permite una caracterización en detalle ni de la flora ni de la vegetación del lugar.

Pese a lo anterior a continuación se describen los principales subsistemas identificados por literatura en el área de estudio.

Tabla 6-3: Principales autores de los registros de especies en la Cuenca del Salar de Atacama

Colector/ autor del registro ⁷	Número de registros
ZOELLNER	47
PISANO & VENTURELLI	52
RICARDI	52
ARROYO & VILLAGRAN	54
PETERSON ET AL	56
BAINES ET AL	61
PFISTER	62
ARANCIO	68
ARROYO ET AL	76
RODRIGUEZ R	77
RICARDI ET AL	92
BAUMANN	105
VILLAGRAN ET AL	106
RODRIGUEZ & RUIZ	148
BAEZA ET AL	214
ARROYO	413

⁷ La información de colectas de herbario fue obtenida a partir de cada una de las muestras depositadas en el Herbario de la Universidad de Concepción (CONC). Para cada registro el herbario posee de manera física el ejemplar que fue depositado por el colector y que forman parte de la colección. La información entregada en la tabla corresponde al autor del registro y no constituye una publicación. A modo de ejemplo, en la colección de CONC existen 47 muestras de herbario que Zoellner depositó en el herbario.

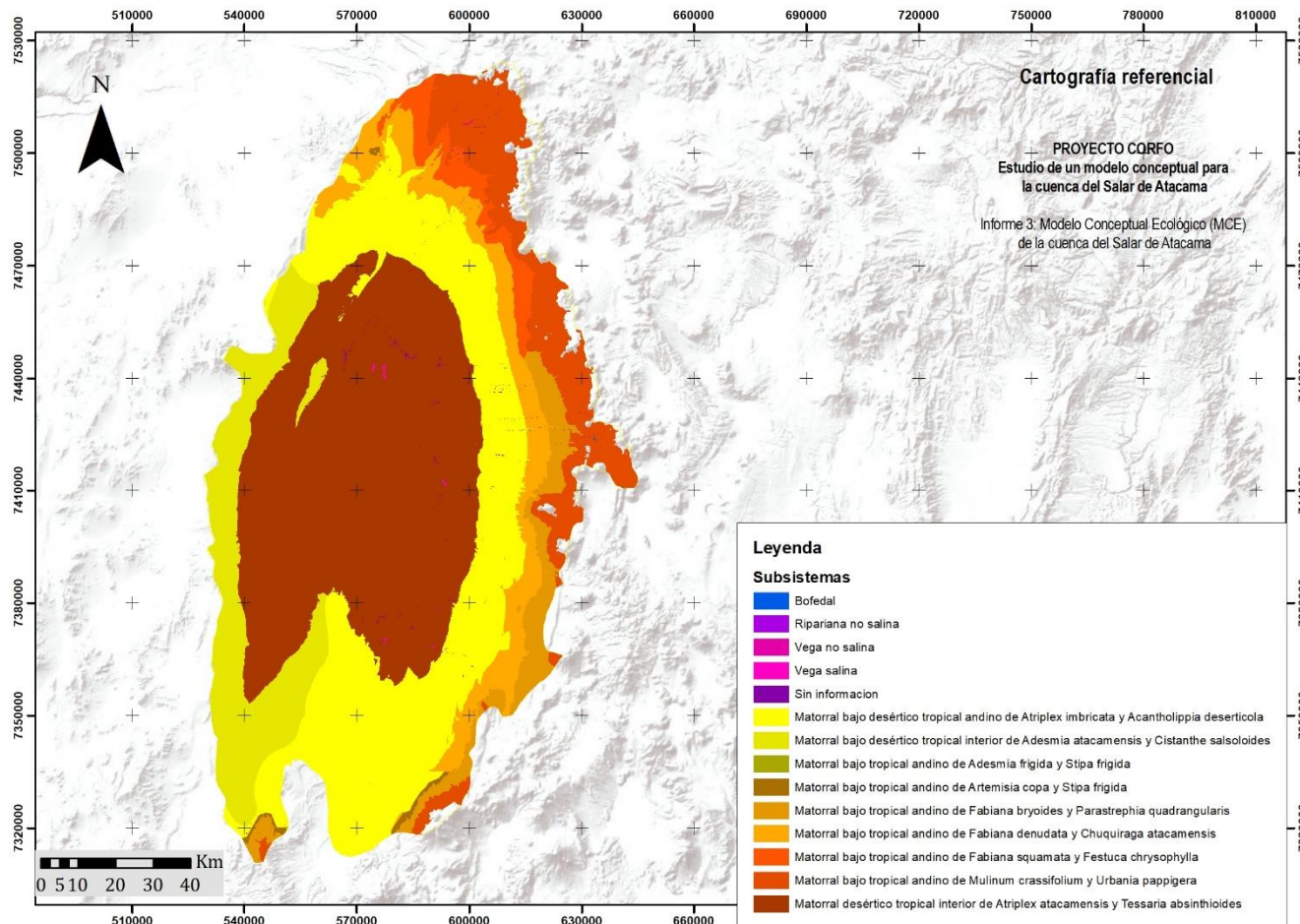


Figura 6-7. Ubicación de los subsistemas de vegetación en la Cuenca del Salar de Atacama

Tabla 6-4: Area y porcentaje de los subsistemas presentes en la Cuenca del Salar de Atacama

Subsistema	Área	Tipo	%
Bofedal	65,66	Azonal	0,00004
Ripariana no salina	46,26		0,00003
Vega no salina	111,01		0,00007
Vega salina	598,24		0,00038
Matorral bajo desértico tropical andino de <i>Atriplex imbricata</i> y <i>Acantholippia deserticola</i>	449.867,62	Zonal	0,28874
Matorral bajo desértico tropical interior de <i>Adesmia atacamensis</i> y <i>Cistanthe salsoloides</i>	188.829,47		0,12120
Matorral bajo tropical andino de <i>Adesmia frigida</i> y <i>Stipa frigida</i>	0,81		0,00000
Matorral bajo tropical andino de <i>Artemisia copa</i> y <i>Stipa frigida</i>	59.288,90		0,03805
Matorral bajo tropical andino de <i>Fabiana bryoides</i> y <i>Parastrephia quadrangularis</i>	95.752,11		0,06146
Matorral bajo tropical andino de <i>Fabiana denudata</i> y <i>Chuquiraga atacamensis</i>	102.256,74		0,06563
Matorral bajo tropical andino de <i>Fabiana squamata</i> y <i>Festuca chrysophylla</i>	37.211,35		0,02388
Matorral bajo tropical andino de <i>Mulinum crassifolium</i> y <i>Urbania pappigera</i>	130.990,70		0,08408
Matorral desértico tropical interior de <i>Atriplex atacamensis</i> y <i>Tessaria absinthioides</i>	491.423,11		0,31542

6.1.1.2 Subsistema ecológico: vegetación azonal

El subsistema vegetación azonal corresponde a aquella vegetación dependientes de condiciones edáficas locales, como por ejemplo, suelos saturados, salinos o afloramientos rocosos xeromórficos, independiente del clima regional (Luebert y Pliscoff, 2006), en el caso de la cuenca del Salar de Atacama, corresponden a sistemas ecológicos correlacionados con un aporte hídrico permanente y constante durante la temporada de crecimiento (fines de primavera, verano e inicios de otoño) y que se caracterizan por su presencia en ambientes normalmente árido-fríos, en el caso chileno asociados a la cordillera de los Andes, y solo puntualmente a la cordillera de la Costa, en donde en medio de matrices arbustivas o herbáceas de escaso o bajo cubrimiento (inferiores a 50 % normalmente) y baja estratificación (habitualmente inferiores a 1 m) aparecen resaltando con su mayor actividad vegetativa y sus mayores cubrimientos (normalmente sobre el 50 %), por ende sistemas de mayor productividad en las áreas en las cuales se ubican, no obstante su menor superficie, constituyéndose en elementos funcionales de alta significación para los ecosistemas relacionados (Ahumada y Faúndez, 2009).

Alfaro y Faúndez (2010) definen 4 subsistemas vegetacionales azonales hídricos altoandinos presentes en la cuenca del Salar de Atacama, los cuales responden a condiciones bióticas y abióticas particulares que se describen a continuación:

i. Subsistema bofedal

Corresponde a aquellas formaciones vegetacionales que presentan un cubrimiento vegetacional superior al 75% y sus especies dominantes corresponden a *Oxychloe andina* o *Zameioscirpus atacamesis* – *Deyeuxia curvula*. Se encuentran preferentemente en los márgenes o bordes de cuerpos o cursos de agua superficial sobre los 3500

msnm, pudiendo o no presentar desarrollarse en sistemas de moderada salinidad (alrededor de un 5%). Las condiciones descritas determinan el hábito predominante, tipo no cespitoso, en cojín y/o pastos bajos de crecimiento muy compacto.

ii. Subsistema vega salina

Formaciones vegetacionales dominadas por especies del género *Carex* (Ej. *Carex misera*), en donde la estratificación vertical escasa que no supera los 10 centímetros, con un cubrimiento entre el 10 y 90 por ciento de la superficie. Puede desarrollarse a baja, media y alta altitud, siendo esta última la que se encuentra en el área de estudio, frecuentemente en afloramientos salinos superiores al 20% completa o medianamente saturados de agua, lo que define el hábito principalmente rizomatoso de las especies presentes, formando así un césped corto con alturas inferiores a los 40 cm.

iii. Subsistema vega no salina

Corresponde a una estrata herbácea de altura media (< a 100 cm) y cubrimientos de tipo claro a poco denso (cercanos al 50%). Dentro de las especies de mayor relevancia que la componen destacan *Juncus balticus* y *Bolboschoenus maritimus*. En aquellas vegas con inundaciones de tipo temporal, es posible encontrar formaciones de *Tessaria absinthiodes*, especie de carácter ruderal. La estrata acompañante presenta una altura promedio de 25 cm y cubrimientos de tipo muy claro, compuesta principalmente por especies del género *Distichlis*. Esta formación se desarrolla principalmente sobre los 3500 msnm en afloramientos salinos menores al 20% en zonas de inundaciones estivales, lo que determina que el hábito de las especies presentes sea principalmente rizomatoso, formando un césped corto con alturas inferiores a los 40 cm.

iv. Subsistema ripariano no salino

Estas formaciones se encuentran cercanas a las riberas de cursos de agua y presentan una alta intervención antrópica, se caracterizan por poseer aporte hídrico de tipo permanente o semipermanente (es decir, sólo mantienen agua en época estival), presentando gran variedad de estratas vegetacionales, en donde la de mayor altura corresponde a *Cortaderia jubata* (Cola de Zorro), una especie herbácea de fácil reconocimiento y característica de la zona, la que forma una estrata de tipo alta (100 a 200 cm) y de escaso cubrimiento (10%). La estrata siguiente, muestra una altura media con cubrimientos promedio del 50% y una de las especies dominantes es *Juncus balticus*. Aquellos sectores que presentan un alto grado de intervención, la estrata se encuentra formada principalmente por *Tessaria absinthiodes*. Por último, las estratas de menor altura varían de muy baja a extremadamente baja y cubrimientos densos (en sectores de alta humedad) a escaso.

6.1.1.3 Subsistema ecológico: vegetación zonal

Para todos los efectos, utilizaremos tanto la definición como la clasificación de Subsistema Vegetacional Zonal de Luebert y Pliscoff 2008. Estos autores reconocen 8 diferentes al interior de los límites de la cuenca Salar de Atacama, estos son:

i. Subsistema matorral bajo desértico tropical andino de *Atriplex imbricata* y *Acantholippia deserticola*

Matorral muy abierto, con o sin suculentas, generalmente dominado por *Atriplex imbricata*, *Acantholippia deserticola* y *Ambrosia artemisioides*, en el que otras especies como *Chuquiraga kuschei*, *Oreocereus leucotrichus* o *Stipa frigida* pueden ser localmente abundantes. En algunos sectores del norte de la región de Antofagasta es posible observar formaciones de *Echinopsis atacamensis* asociadas altitudinalmente a la transición entre este piso de vegetación y el inmediatamente superior, Matorral bajo tropical andino de *Fabiana denudata* y *Chuquiraga atacamensis*. Se especula que su regeneración de las especies dominantes, así como el banco de semillas de las herbáceas anuales acompañantes, estarían mediadas por la ocurrencia marginal de precipitaciones estivales.

Este subsistema se encuentra ampliamente distribuido en la precordillera de las regiones de Antofagasta (3500 a 3800 msnm) y Tarapacá (2500 a 3300 msnm). Se encuentra asociado a pisos bioclimáticos supratropical ultrahiperárido, hiperárido, árido y semiárido inferior hiperoceánico, alcanzando, en su rango de distribución sur posiciones orotropicals inferiores.

ii. Subsistema matorral bajo desértico tropical interior de *Adesmia atacamensis* y *Cistanthe salsoloides*

Matorral muy abierto extremadamente xeromórfico en el que dominan *Adesmia atacamensis* y *Cistanthe salsoloides*, acompañadas por un elenco variable de especies entre las que pueden mencionarse *Huidobria fruticosa*, *Dinemandra ericoides* y *Ephedra breana*. Generalmente la vegetación se asocia a situaciones microtopográficas favorables, donde se acumula la escasa humedad. Recibe influencias marginales de lluvias de verano.

Si bien no se tienen datos de su dinámica, se especula que la regeneración de las especies que conforman este subsistema responde a eventos de precipitación estival excepcionales, los que son muy ocasionales.

Con respecto a su distribución, este subsistema se encuentra ampliamente repartida en las partes bajas de la cordillera andina, desde el centro de la región de Tarapacá hasta el norte de la región de Atacama, entre los 1800 a los 3700 msnm en los tramos sur y entre 2100 a 3000 en la zona norte, correspondiendo al piso bioclimático mesotropical superior y supratropical ultrahiperárido e hiperárido inferior oceánico.

iii. Subsistema matorral bajo tropical andino de *Adesmia frigida* y *Stipa frigida* (numeración)

Matorral bajo, extremadamente xeromórfico, muy pobre en especies, dominado por las plantas en cojín *Adesmia frigida* y *A. echinus* y la gramínea *Stipa frigida*, a las que se agregan ocasionalmente algunas plantas herbáceas o arbustos bajos. Con respecto a su dinámica, existe muy poca información disponible, solo se sospecha de la presencia de especies pulvinadas que podrían actuar como nodrizas.

Se distribuye en laderas altas de la cordillera de Domeyko y precordillera andina en el sur de la región de Antofagasta y norte de atacama, entre los 3700 a 4400 msnm. Se desarrolla en pisos bioclimáticos orotropical hiperárido y árido inferior hiperoceánico.

iv. Subsistema matorral bajo tropical andino de *Artemisia copa* y *Stipa frígida*

Matorral bajo dominado por *Adesmia melanthes* y *Artemisia copa*, en el que también participan *Stipa frígida*, *Sisymbrium philippianum*, *Hoffmanseggia eremophila*. En algunos sectores se presentan cactáceas en cojín del género *Opuntia* (*O. atacamensis*, *O. conoidea*) y en otros, una densa estrata de hierbas anuales (e.g. *Phacelia pinnatifida*, *Ipomopsis gossypifera*), que emergen después de las lluvias. En las zonas de transición hacia el piso de vegetación inmediatamente inferior en altitud, se mezcla con algunos elementos de ese piso, como *Acantholippia deserticola*. Si bien no se tienen datos de su dinámica, se especula que los ciclos de regeneración de las especies que conforman este subsistema respondan a la variabilidad de las precipitaciones estivales.

Este subsistema se puede encontrar en laderas medias de los Andes del centro sur de la región de Antofagasta y norte de Atacama, entre los 3800 y 4000 msnm, específicamente en el piso bioclimático orotropical inferior hiperárido hiperoceánico.

v. Subsistema matorral bajo tropical andino de *Fabiana bryoides* y *Parastrephia quadrangularis*

Matorral bajo, pobre en especies, dominado por los arbustos *Parastrephia quadrangularis* y *Fabiana bryoides* y las gramíneas *Stipa frígida* y *Festuca chrysophylla*. En su composición destacan algunas otras especies que pueden ser localmente abundantes como *Adesmia erinacea*, *A. melanthes* y *Senecio xerophilus*. Se distribuye en el altiplano de la región de Antofagasta y del norte de la región de Atacama, entre los 3800 a los 2400 msnm, específicamente se desarrolla en el piso bioclimático orotropical árido hiperoceánico.

vi. Subsistema matorral bajo tropical andino de *Fabiana denudata* y *Chuquiraga atacamensis*

Matorral dominado por los arbustos *Fabiana denudata*, *Chuquiraga atacamensis*, *Fabiana ramulosa* y *Baccharis boliviensis*. También participan otros arbustos, como *Haplopappus rigidus* y *Ephedra breana* y gramíneas como *Stipa frígida* y *S. venusta*. En algunos sectores de la zona baja de este piso de vegetación, en la transición con el piso de vegetación Matorral desértico tropical andino de *Atriplex imbricata* y *Acantholippia deserticola*, se desarrollan poblaciones de la Cactácea columnar *Echinopsis atacamensis*.

Se distribuye en la precordillera del centro norte de la región de Antofagasta y sur de Tarapacá. Entre los 3400 a los 3800 msnm, asociado al piso vegetacional orotropical inferior hiperárido superior hiperoceánico.

vii. Subsistema matorral bajo tropical andino de *Fabiana squamata* y *Festuca chrysophylla*

Matorral con gramíneas, dominado por los arbustos *Fabiana squamata* y *Parastrephia quadrangularis* y las gramíneas *Festuca chrysophylla*, *Stipa frígida*, *S. nardoides* y *S. venusta*. También están presentes con abundancias variables los arbustos *Fabiana squamata*, *Adesmia melanthes* y *Chuquiraga atacamensis*, y los cojines *Azorella compacta* y *Pycnophyllum bryoides*. En algunos sectores muy localizados de este piso de vegetación se ha reportado la presencia de bosquetes de *Polylepis tarapacana*, que alcanzan su límite sur de distribución. Se especula que las especies predominantes de este subsistema son sucesionales secundarias, cuyas plantas nodrizas serían plantas en cojín y gramíneas en mechón aledañas a esta formación.

Se distribuye en laderas y planos altos de la cordillera andina del sur de la región de Tarapacá y norte de la región de Antofagasta, entre los 3800 a los 4100 msnm; asociado al piso bioclimático orotropical árido hiperoceánico.

viii. Subsistema matorral bajo tropical andino de *Mulinum crassifolium* y *Urbania pappigera*

Matorral bajo dominado por plantas pulvinadas y gramíneas en mechón, entre las que destacan *Mulinum crassifolium*, *Urbania pappigera*, *Adesmia caespitosa*, *Stipa frigida* y *Deyeuxia crista*, a las que se asocia un elenco diversificado de herbáceas rosuladas, tales como *Chaetanthera revoluta*, *Nototriche auricoma* y *Perezia atacamensis*. En algunos sectores marca el límite altitudinal de la vegetación vascular; en cuya extensión puede mezclarse en una transición difusa con los elementos del Herbazal tropical andino de *Chaetanthera sphaeroidalis*, el que en algunos casos define un piso de vegetación por encima de éste. Se especula que las especies predominantes de este subsistema son sucesionales secundarias, cuyas plantas nodrizas serían plantas en cojín y gramíneas en mechón aledañas a esta formación.

38

Ampliamente distribuida en las zonas cordilleranas altas de los Andes del sur de la región de Tarapacá, Antofagasta y norte de Atacama, entre los 4200 y 4900 msnm; asociado al piso bioclimático orotropical superior y criotropical inferior árido superior y semiárido hiperoceánico.

ix. Subsistema matorral desértico tropical interior de *Atriplex atacamensis* y *Tessaria absinthioides*

Matorral alto, freatófilo, dominado por los arbustos *Atriplex atacamensis* y *Tessaria absinthioides* y la gramínea *Distichlis spicata*. Su presencia, asociada a los salares, está determinada por la existencia de una napa freática que proporciona la humedad suficiente para compensar el déficit hídrico provocado por la escasez de las precipitaciones, a pesar de lo cual se ha considerado como una unidad independiente. Ocasionalmente es posible observar la presencia de los árboles espinosos *Prosopis alba* y *Geoffroea decorticans*. Debido a estar edáficamente condicionada no es posible reconocer comunidades zonales e intrazonales. Se especula que este subsistema es el resultado de una histórica presión antrópica.

Subsistema característico de grandes fosas salinas de las regiones de Tarapacá (entre 600 y 900 msnm y de Antofagasta (entre 2400 y 2500 msnm), estando presentes en pisos bioclimáticos mesotropical ultrahiperárido e hiperárido inferior, supratropical inferior ultrahiperárido superior y supratropical inferior hiperárido inferior hiperoceánico.

6.1.2 Caracterización temporal y espacial de los subsistemas acuáticos

A continuación, se describen los ecosistemas acuáticos identificados en la cuenca del Salar de Atacama. En la Figura 6-8 se etiqueta la ubicación de los subsistemas acuáticos mencionados y en la Figura 6-8 se realiza un acercamiento de los sistemas, dado a que sus superficies son reducidas en comparación con la superficie del salar y de la Cuenca del Salar de Atacama. Cabe destacar que en el Anexo B y D se encuentra la información sistematizada de la base de datos de los ecosistemas acuáticos que ha permitido desarrollar el presente acápite. Específicamente en el Anexo B se presenta la Tabla dinámica que señala por subsistema acuático y grupo biológico (tapetes microbianos, fitobentos, fitoplancton, zooplancto, zoobentos y plantas vasculares), la cantidad de *taxa* encontrados por cada periodo de muestreo realizado por los operadores del Salar de Atacama. En el Anexo D se encuentran varias tablas, cada una compara los subsistemas acuáticos en función de los *taxa* pertenecientes a un grupo biológico y se observa la información respecto a la presencia o ausencia de cada *taxón* en los diferentes subsistemas.

39

Se destaca que los ecosistemas lagunares, vegas y ecosistemas salinos se desarrollan en la zona baja de la cuenca, particularmente en los márgenes del Salar. Estos ecosistemas albergan una alta diversidad biológica en relación con su entorno. Dichos sistemas están constituidos por lagunas que muestran características y propiedades particulares.

En la Adenda 5 del EIA “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta” (Rockwood Lithium Ltda, 2015), se realiza un análisis integral de los sistemas lagunares (llamados en este informe subsistemas ecológicos), en busca de desarrollar los modelos conceptuales del funcionamiento hídrico de los sistemas lacustres de interés. Ellos se basan en el análisis de los niveles, caudales, calidad química (calidad de aguas) e isotópica de las aguas presentes en las lagunas y en el agua subterránea presente en cada subsistema. Con ello fue posible establecer los mecanismos de recarga y descarga de las lagunas, y determinar las relaciones existentes con el nivel freático local (Rockwood Lithium Ltda, 2015). Los subsistemas acuáticos estudiados se mencionan a continuación, más la Laguna Tebenquiche que se caracteriza, según la información disponible, en el presente estudio.

- Subsistema La Punta–La Brava: constituido por las lagunas del mismo nombre y Vegas y Lagunas de Tilopozo
- Subsistema Peine: conformado por las Lagunas Salada, Saladita e Interna.
- Subsistema Aguas de Quelana: compuesto por las Lagunas de Aguas de Quelana.
- Subsistema Soncor: que incluye las Lagunas Barros Negros y Chaxa
- Subsistema Laguna Tebenquiche

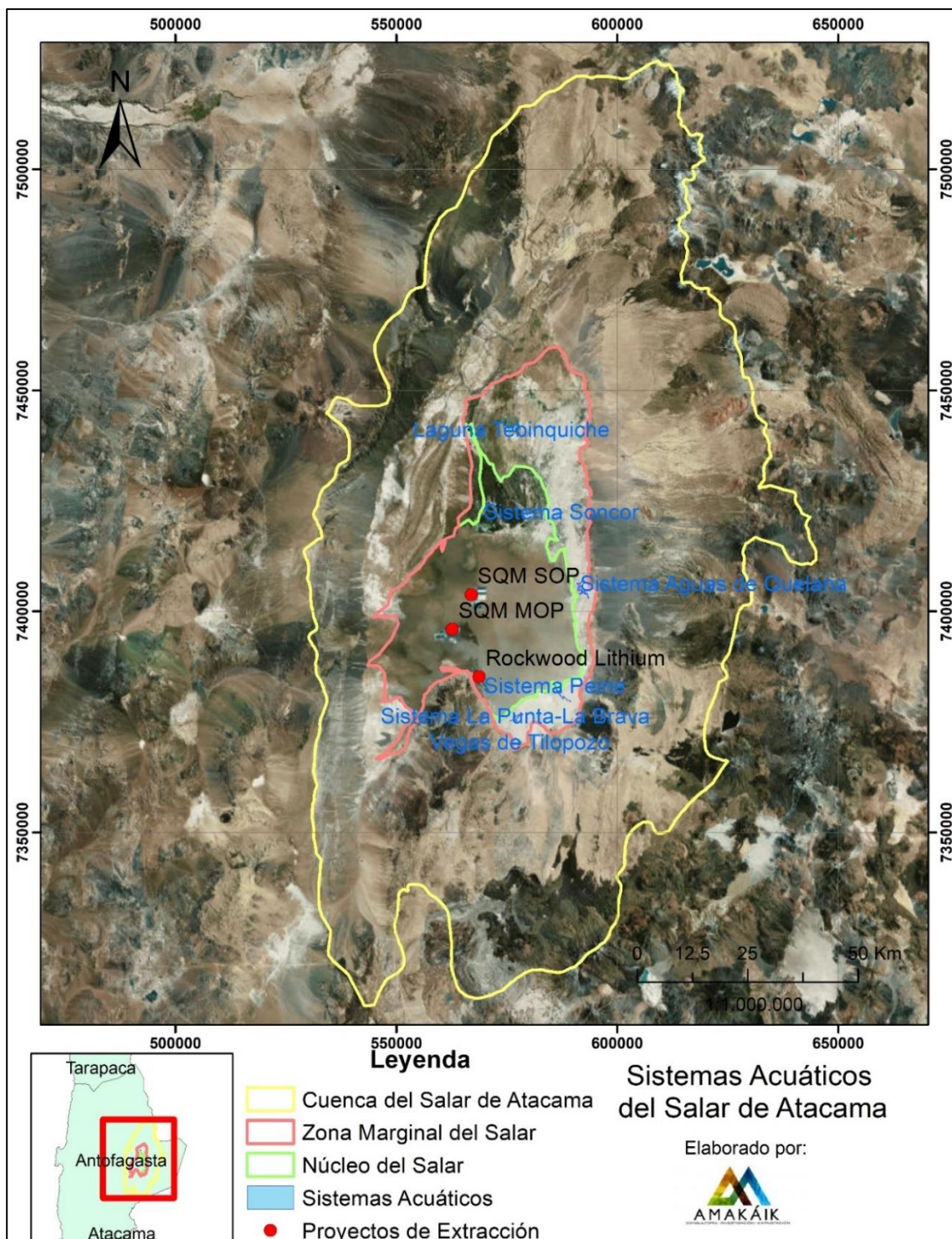
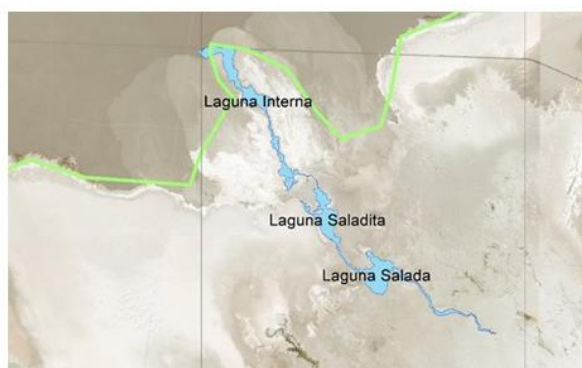


Figura 6-8: Subsistemas Acuáticos del Sal de Atacama

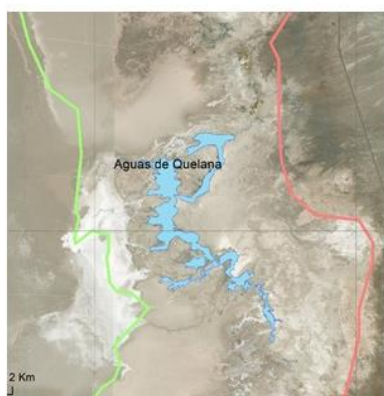
Subcomponente acuático de la Cuenca del Salar de Atacama



Sistema La Punta – La Brava
Sistema Vegas de Tilopozo



Sistema Peine



Sistema Aguas de Quelana



Sistema Soncor



Laguna Tebenquinche

Solicitado por:



Elaborado por:



Figura 6-9: Sistemas que conforman el subcomponente acuático de la Cuenca del Salata de Atacama

Los depósitos salinos presentes en el Salar de Atacama están compuestos por dos zonas claramente diferenciadas: el núcleo salino y la zona marginal (Figura 6-8). El núcleo salino es un cuerpo homogéneo formado por costras duras de cloruro de sodio, de relieve muy irregular, dentado y quebradizo, que constituye principalmente la parte central y oeste del Salar de Atacama. La zona marginal está compuesta por dos unidades: zona de limos y zona de eflorescencias. La zona de limos, que se encuentra en los bordes de los depósitos salinos, es bastante plana, con vegetación relativamente abundante y homogénea, y está constituida principalmente por arcillas y limos de origen aluvial, cementados localmente por sales (cloruros y sulfatos). La zona de eflorescencias corresponde a depósitos salinos (yeso, anhidrita, carbonatos y boratos), donde la napa alcanza la superficie y presenta una vegetación relativamente abundante, que forma una franja entre la zona de limos y el núcleo (Muñoz et al., 2004).

El núcleo salino se encuentra impregnado con una salmuera con alta concentración de sólidos disueltos, principalmente NaCl, que interactúa con una masa de agua fresca que proviene de las partes más altas de la cuenca. Esta interacción produce una interfaz salina, cuya posición y forma dependen de la tasa de evaporación, de las características hidrogeológicas del medio, del comportamiento de las precipitaciones y de la densidad de la salmuera. La presencia de la interfaz salina y el brusco cambio de pendiente que se presenta en la zona marginal del salar, producen una serie de lagunas, que son recargadas por aguas superficiales y/o subterráneas provenientes de la infiltración y por el posterior escurrimiento subterráneo de las precipitaciones de las partes más altas de la cuenca. Algunas de estas lagunas presentan pequeñas variaciones en sus tamaños y niveles (a pesar de las fluctuaciones en los caudales de recarga) y son el hábitat de una variada flora y fauna, mientras que otras lagunas presentan grandes variaciones de niveles, llegando incluso a desaparecer en algunos períodos (Muñoz et al., 2004).

Debido al amplio rango de concentraciones que puede experimentar un agua natural, existe una clasificación de estas en función de su salinidad (según el Sistema de Venecia de 1959, *The Venice System for the Classification of Marine Waters According to Salinity*). Así, las aguas pueden discriminarse en aguas dulces (con valores de salinidad total $<0,5$ g/L), aguas oligohalinas (0,5 a 4 g/L), mesohalinas (4 a 18 g/L), polihalinas (18 a 30 g/L), euhalinas (30- 40 g/L, el promedio del agua de mar oceánica tendría un valor de 34,9 g/L) y aguas hipersalinas (>40 g/L) (Ribera Urenda, 2016). A modo de referencia, la clasificación más simple de Freeze y Cherry de 1979 (van Weert & van der Gun, 2012), se basa en los niveles de TDS (Sólidos Disueltos Totales) contenidos en el agua, los cuales se detallan en la siguiente la Tabla 6-5.

Tabla 6-5: Clasificación según la salinidad del agua

Clasificación	Rango de TDS (mg/L)	Rango de TDS (g/L)
Agua dulce	0 – 1000	0 – 1
Agua Salobre	1000 – 10000	1 – 10
Agua Salina	10000 – 100000	10 – 100
Salmuera	> 100000	> 100

Fuente: van Weert & van der Gun, 2012

Como se mencionó, los sistemas lagunares se desarrollan en la zona marginal del Salar de Atacama, y su ubicación, forma y mecanismos de alimentación y descarga, están condicionados principalmente por los siguientes factores físicos:

- Posición de sustrato rocoso impermeable
- Magnitud del flujo subterráneo
- Interacción con la interfase salina
- Topografía

Dado el conocimiento general de la zona en la cual existen estos sistemas acuáticos, fue desarrollado un modelo conceptual general de su funcionamiento. En este modelo se establece que el agua dulce-salobre que alcanza la zona marginal que procede desde las subcuencas aportantes, se canaliza de manera preferente a través de “callejones” situados entre materiales geológicos de muy baja permeabilidad o sustrato rocoso impermeable (rocas paleozoicas y mesozoicas). Una vez estas aguas alcanzan la parte topográficamente más baja de la cuenca, se encuentra con la salmuera que se sitúa en el núcleo y en parte de la zona marginal, donde debido a la diferencia de densidad y a la magnitud del flujo, el agua dulce-salobre se sitúa por sobre la salmuera y se genera una interfase entre ambos fluidos. Esta interfase actúa a modo de separación hidráulica natural (Figura 6-10) (Rockwood Lithium Ltda, 2016).

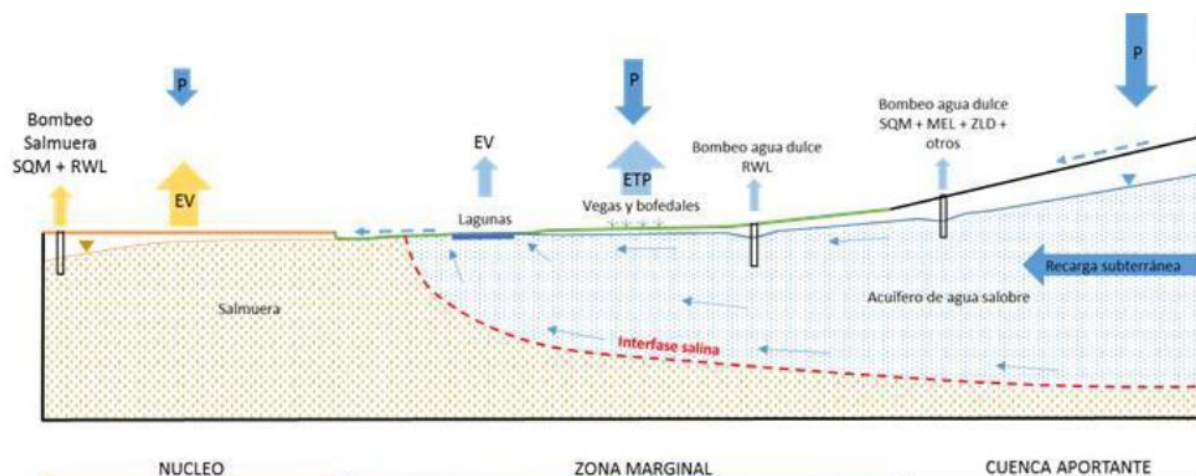


Figura 6-10: Modelo conceptual general de la dinámica de aguas superficiales y subterráneas de las lagunas del Salar de Atacama. Fuente: Rockwood Lithium Ltda, 2015

El modelo conceptual que se muestra en la Figura anterior incluye a los diferentes titulares presentes en la zona de estudio y los cuales realizan extracciones autorizadas desde el acuífero de agua dulce-salobre y desde la zona de núcleo. De ellos, sólo los titulares SQM y Rockwood presentan un bombeo desde la zona del núcleo (Rockwood Lithium Ltda, 2016). Cabe mencionar que el subsuelo del Salar constituido por niveles acuíferos salinos, contiene salmueras intersticiales ricas en litio y sales potásicas (Salas et al., 2010).

El acuífero identificado se evidencia, con flujos subterráneos que varían desde agua dulce a salobre, desde el borde Este hacia la Zona Marginal, donde se desarrolla la costra de sulfato-cloruro (Rockwood Lithium Ltda, 2016). La

composición de las aguas dulces tiende a ser sulfatada y/o clorurada cálcica, aunque también es posible reconocer aguas bicarbonatadas-sódicas. En relación con los sistemas salobres se puede evidenciar grandes concentraciones de iones disueltos hacia el sector del núcleo, donde las concentraciones de cloruro y sodio tienden a ser dominantes.

En cuanto a la dinámica de la salmuera, la diferencia entre la carga hidráulica del acuífero dulce (mayor altura) y el nivel de la salmuera del núcleo (menor altura), en conjunto con la presencia de la interfase salina, genera el afloramiento constante del agua en la zona marginal y su posterior exposición a la atmósfera. En función de la diferencia entre las tasas de afloramiento y las tasas de evaporación, se definen dos tipos de expresiones superficiales:

44

- a) La evaporación directa desde el terreno es mayor que el caudal de afloramiento, con lo que se forman extensas áreas de evaporación con niveles freáticos muy próximo a superficie. En estas zonas además es donde se produce la dinámica de procesos de disolución-precipitación, que generan las diferentes costras de rocas evaporíticas (carbonatos, sulfatos y cloruros).
- b) La evaporación directa desde el terreno es insuficiente para evacuar a la atmósfera toda el agua del afloramiento, por lo que se forman sistemas lagunares, que a su vez pueden tener dos tipologías claramente diferentes:

- Sistema tipo La Punta-La Brava: alimentadas directamente desde el acuífero en la propia laguna o en sus bordes. A este tipo corresponden también las lagunas del Sistema Aguas de Quelana. Su morfología es también alargada y se alinean en dirección paralela a la posición de la interfase en superficie.

-Sistemas tipo Peine: la fuente de alimentación de las lagunas es a través de un canal alimentado en su parte alta por las aguas del acuífero salobre. La morfología de estas lagunas es la de una serie de lagunas comunicadas por canales, y que se disponen alineadas en dirección paralela al flujo, y perpendicular a la posición de la interfase en superficie.

Cabe destacar que estas tipologías de desarrollo lagunar no siempre se desarrollan de forma completa, sino que podrán existir situaciones intermedias, como por ejemplo, el caso de las lagunas del Sistema Soncor (Rockwood Lithium Ltda, 2016).

6.1.2.1 Subsistema La Punta–La Brava y Vegas de Tilopozo

i. Funcionamiento Hidrogeológico

El subsistema La Punta-La Brava se sitúa en la zona Sur del Salar de Atacama, y está conformado por las lagunas La Punta y La Brava. Ambas lagunas se desarrollan de forma paralela a la posición de la interfase entre la salmuera y el agua dulce-salobre de la zona. Cabe señalar que la interfase fue determinada utilizando información de estudios geofísicos y de monitoreos existentes que realizan periódicamente las empresas Rockwood y Minera Escondida. Además, cabe consignar que a este subsistema pertenecen también las Vegas de Tilopozo (Rockwood Lithium Ltda,

2015). En la Figura 6-11 se muestra la ubicación y disposición de las lagunas que componen el Subsistema La Punta-La Brava.

Respecto a la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas del subsistema La Punta-La Brava, los resultados y caracterizaciones realizadas por Rockwood Lithium Ltda, 2015 establecen que:

45

- Se evidencia una diferencia en el comportamiento de la salmuera y del acuífero dulce-salobre.
- Los niveles de la salmuera muestran un descenso sostenido en el tiempo, sin un comportamiento estacional, y con una respuesta asociada a eventos de precipitación.
- El acuífero dulce-salobre no muestra una tendencia en la variación de su nivel, presenta un comportamiento estacional, y tampoco muestra una respuesta asociada a eventos de precipitación.
- Las lagunas muestran comportamientos distintos dependiendo de la ubicación. Hay zonas que muestran un comportamiento estacional bien marcado (forzado por la alta evaporación de la zona) como ocurre en La Brava. Otras zonas no muestran cambios, ya que se considera que la ocurrencia de afloramientos locales desde el acuífero dulce-salobre son permanentes, como ocurre en parte de la laguna La Punta. Tales afloramientos, forzados por la presencia de la interfase salina, se sitúan principalmente en la orilla sur de las lagunas.
- Este comportamiento determina marcados gradientes espaciales y temporales en cuanto a salinidad y conductividad eléctrica, variables estructurales al ecosistema.
- Las diferentes partes (o sub-cuerpos de agua) que componen a cada laguna poseen desniveles considerables, definiendo de buena manera la dirección de los flujos en el subsistema.

Los autores proponen un modelo conceptual del funcionamiento del Subsistema La Punta-La Brava, el cual se muestra en la Figura 6-12. Allí se evidencia como la alimentación del acuífero dulce-salobre local (en la zona de las lagunas) dependerá del aporte realizado por flujos provenientes desde el extremo Sur del Salar, y ubicados en zonas de mayor altura de la cuenca. Estas aguas afloran en parte en la zona de las Vegas de Tilopozo, sin generar una canalización que las lleve hasta las lagunas. Así, las lagunas se alimentan de afloramientos locales forzados por la presencia de la interfase salina que se sitúan principalmente en la orilla sur de las lagunas (Rockwood Lithium Ltda, 2015).

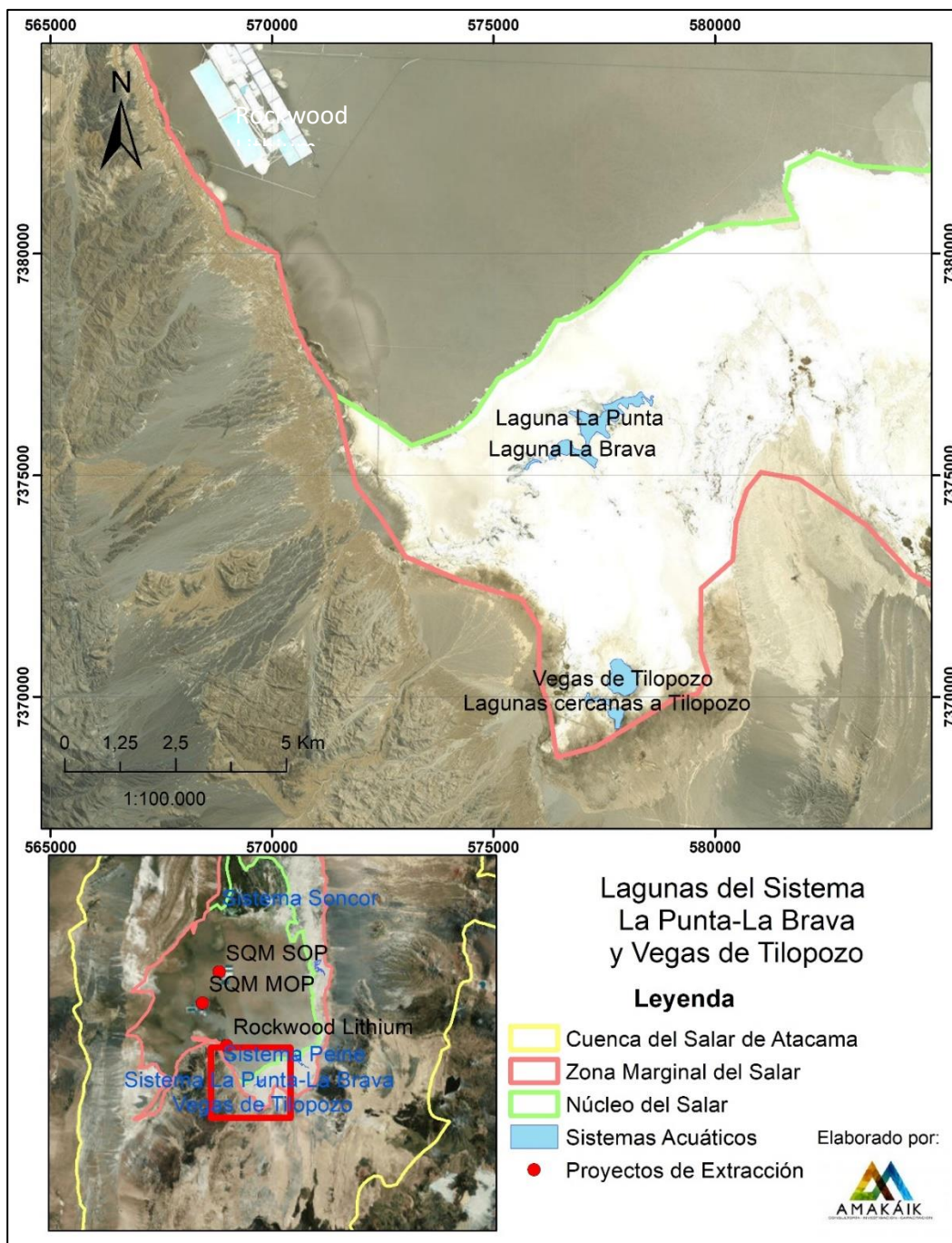


Figura 6-11: Ubicación de las lagunas del Subsistema La Punta-La Brava

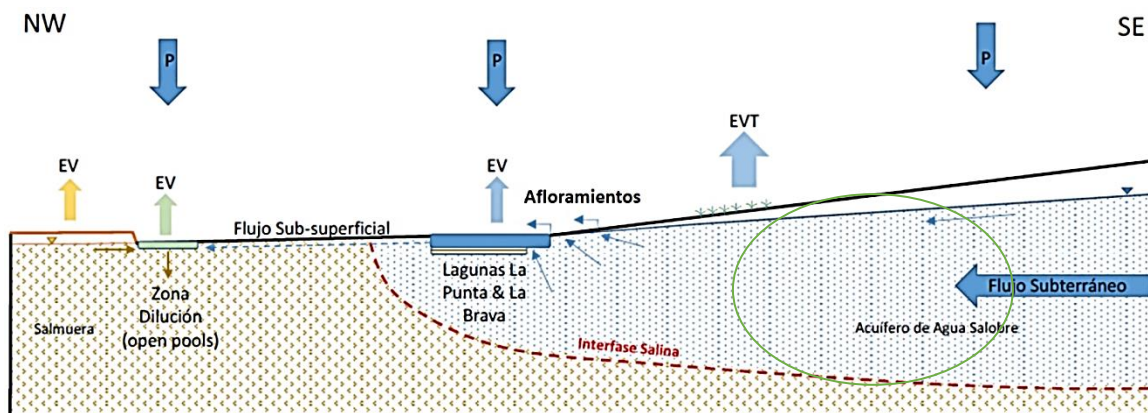


Figura 6-12: Modelo conceptual del funcionamiento de la dinámica de aguas superficiales y subterráneas del Subsistema La Punta-La Brava. Fuente: Rockwood Lithium Ltda, 2015

ii. Calidad de agua

Este subsistema de lagunas se caracteriza principalmente por presentar valores de conductividad específica y salinidad variables. La conductividad, muestra variaciones espaciales entre las lagunas, aumentando desde la laguna La Punta hacia La Brava, así como importantes variaciones temporales, con mayores valores en verano, probablemente asociado a mayores tasas de evaporación. Los valores observados están por sobre los 30 mS/cm. Esto implica lo dinámico que es este sistema, lo que puede repercutir en la composición de flora y fauna acuática del sistema (ver acápite 6.1.3.4 Zooplancton). En relación también a la variable conductividad, en los sólidos totales disueltos se evidenció la misma tendencia espaciotemporal. El pH es básico promediando un valor de 8, observándose valores más altos en la laguna La Brava.

Respecto a las lagunas de Tilopozo, se caracterizan por presentar aguas salobres, duras, con pH 8 aproximadamente y un carácter iónico clorurado y sódico. Estas lagunas se caracterizan por presentar diferencias importantes en las conductividades y las salinidades con valores que van desde los 60 a 125 mS/cm y de 40 g/L a 60 g/L respectivamente.

Por su parte, las vegas de Tilopozo, fluyen sobre la interfaz salina, terminando en lagunas de salobres a salinas. Se evidencian valores de conductividad que promedian los 4 mS/cm (salobre), con salinidades mucho más bajas que las lagunas La Punta y La Brava y pH relativamente neutros.

iii. Tapetes microbianos

Los tapetes microbianos han sido descritos como comunidades bentónicas estratificadas que se desarrollan en la interfase entre el agua y sustratos sólidos. Estos requieren de un basamento donde establecerse, ya que se constituyen por la unión de los microorganismos a las partículas salinas y de sedimentos clásticos. La granulometría de los sedimentos es importante, dado que de esta depende el drenaje, incluyendo la capacidad de retención de agua y la aireación (Demergasso et al., 2003).

Cabe señalar que los tapetes microbianos corresponden a estructuras laminadas, constituidos por microorganismos heterotróficos y fototróficos. El tipo de laminación está controlada por factores como la luz, la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto y la presencia de sulfuros. Estas laminaciones tienen coloración diferenciada como resultado del desarrollo de bacterias fotosintéticas que contienen distintos pigmentos y, por lo tanto, distintos patrones de utilización de la luz disponible. De importancia son las bacterias fototróficas, tanto oxigénicas como anoxigénicas, ya que juegan un papel relevante por tratarse de microorganismos productores primarios. Estos últimos son además los principales colonizadores de los tapetes microbianos y, algunos de ellos, contribuyen activamente a dar estabilidad a los sedimentos (Demergasso et al., 2003).

Los tapetes microbianos corresponden en sí mismos a Ecosistemas Microbianos Extremófilos, siendo comunidades microbianas que incorporan detritus, minerales y materiales geoquímicos asociados, incluyendo cristales. Ahora bien, los ciclos geoquímicos descritos en los ecosistemas microbianos extremófilos de los ecosistemas de Atacama serían una especie de eslabón perdido de la geoquímica que existió en el planeta antes de la liberación de O_2 producida por la fotosíntesis. Los ecosistemas microbianos extremófilos asociados a minerales (tapetes microbianos) serían la base de la producción primaria en los humedales, producción que sostiene una importante diversidad de invertebrados y aves, entre estas últimas, especies emblemáticas como los flamencos. En este contexto, el estudio y conservación de estos ecosistemas microbianos extremófilos es de vital importancia no solo desde el punto de vista científico, sino también para conservar la salud integral de los humedales altoandinos (Contreras & Farias, 2017).

Respecto a la composición de microorganismos de tapetes microbianos en el **Sector La Punta-La Brava**, el subsistema La Punta-La Brava mostró una riqueza total de 12 *taxa* para la campaña 2014 y 13 *taxa* para la campaña 2017, con un total de 18 *taxa* entre ambas campañas. En el caso de la campaña realizada el 2014 se observó la presencia de Acidobacteria, Bacteroidetes, Caldithrix, Chloroflexi, Chlamydiae, Firmicutes, Lentisphaerae, Planctomycetes, Proteobacteria, Spirochaetes, Thermi y Verrucomicrobia. Mientras que en la campaña de 2017 se encontró Acetothermia, Bacteroidetes, Cyanobacteria, Crenarchaeota, Chloroflexi, Deinococcus-Thermus, Euryarchaeota, Firmicutes, Planctomycetes, Proteobacteria, Spirochaetes, Thermi y Verrucomicrobia (Farias et al., 2017).

iv. Fitobentos

El fitobentos corresponde al complejo de comunidades algológicas que viven asociadas a un sustrato del fondo de los cuerpos de agua (Parra & Bicudo, 1996), las cuales son representadas por microalgas bentónicas. Su importancia radica en ser productores primarios en el ecosistema (estando o no asociadas a los tapetes microbianos) sosteniendo en parte la diversidad de invertebrados y la avifauna que se alimentan de ellas.

En el **Sector La Punta**, dentro de los estudios recopilados en el informe consolidado de Rockwood Lithium Ltda (2015), se indica que en septiembre 2013, la laguna La Punta reportó una riqueza de *taxa* entre 8 y 11 *taxa*. El taxón dominante correspondió a *Nitzschia* (diatomea). En abril 2014, la riqueza en la Laguna La Punta osciló entre 10 y 14 *taxa*, dominando el ensamble la cianófita *Oscillatoria*. En julio 2014, la riqueza en la Laguna La Punta osciló entre 9 y 17 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Denticula*. En la campaña de enero 2015, se detectaron para la riqueza valores entre 11 y 16 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Denticula*.

De acuerdo al registro histórico entre los años 2015 y 2016, se encontró un total de 73 *taxa* de fitobentos en el sector laguna La Punta, presentando una alta dominancia del género *Denticula* (diatomea) en el orden de 22 y 68% (Minera Escondida Ltda., 2017).

En el **Sector La Brava**, dentro de los estudios recopilados en el informe consolidado de Rockwood Lithium Ltda (2015), se indica que en septiembre 2008, la laguna La Brava presentó una riqueza entre 8 y 13 *taxa*. La especie dominante correspondió a *Denticula*. En la campaña de septiembre 2013 se registró una riqueza entre 5 y 11 *taxa*. El taxon dominante correspondió a *Denticula*. En abril 2014, la riqueza en la Laguna La Brava osciló entre 9 y 10 *taxa*, dominando el ensamble la cianófita *Chroococcus*. En julio 2014, la riqueza en la Laguna Brava osciló entre 9 y 10 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Denticula*. En la campaña de enero 2015, se detectaron para la riqueza valores entre 16 y 17 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Denticula*.

De acuerdo al registro de Minera Escondida Ltda. (2017) entre los años 2015 y 2016, se encontró un total de 84 *taxa* de fitobentos en el sector laguna La Brava, presentando una alta dominancia del género *Denticula* (diatomea) en el orden de 26 y 94%.

De acuerdo con el registro histórico entre los años 2015 y 2016, en el Sector Lagunas Vecinas a Tilopozo se encontró un total de 60 *taxa* de fitobentos en el sector lagunas vecina de Tilopozo, presentando una alta dominancia del género *Denticula* (diatomea) en el orden de 22 y 83% (MEL 2016).

En tanto, para el mismo período en Vegas de Tilopozo, se encontró un total de 38 *taxa* de fitobentos en el sector vegas de Tilopozo, presentando una alta dominancia del género *Denticula* (diatomea) en el orden de 34 y 61% (MEL 2016).

v. Fitoplancton

Corresponde a la comunidad de organismos microscópicos fotosintetizadores que se hallan en suspensión en las aguas y que puede ser delimitada ecológicamente y fisionómicamente (Parra & Bicudo, 1996). Comunidad conformada por microorganismos fotosintéticos como microalgas, flagelados heterótrofos y también otros grupos de organismos sin clorofila (Wetzel, 2001). Su importancia ecológica, al igual que el fitobentos, radica en ser productores primarios en el ecosistema, sosteniendo en parte la diversidad de invertebrados y la avifauna que se alimentan de los microorganismos que componen el fitoplancton.

Respecto del fitoplancton registrado en el **Sector La Punta**, se observaron entre los años 2015 y 2016 un total de 85 *taxa*, en la laguna La Punta, presentando una alta dominancia del género *Denticula* en el orden de 25 y 83% (MEL 2016).

Dentro de los estudios recopilados en el informe consolidado de Rockwood Lithium (2015), se indica que, en septiembre 2013, la laguna La Punta reportó una riqueza de *taxa* entre 10 y 14 *taxa*. El taxón dominante correspondió a *Cocconeis* (diatomea).

En abril 2014, para el fitoplancton se detectó riquezas que oscilaron entre 9 y 14 *taxa*, dominando el ensamble *Chroococcus* (Cianofícea). En julio 2014, la riqueza en la Laguna La Punta osciló entre 9 y 14 *taxa*, dominando el ensamble la clorofita *Sphaerocystis*. En la campaña de enero 2015, se detectaron para la riqueza entre 10 y 11 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Denticula*.

Respecto del fitoplancton en el **Sector La Brava**, se observaron entre los años 2015 y 2016 un total de 100 *taxa*, en la laguna La Brava, presentando una alta dominancia del género *Denticula* en el orden de 21 y 88% (MEL 2016).

50

Dentro de los estudios recopilados en el informe consolidado de Rockwood Lithium 2015, se indica que, en septiembre 2008, la laguna La Brava presentó un a riqueza entre 5 y 17 *taxa*. La especie dominante correspondió a *Denticula*.

En la campaña de septiembre 2013 se registró una riqueza entre 9 y 10 *taxa*. El taxon dominante correspondió a *Denticula*. En abril 2014, para el fitoplancton se detectó riquezas que oscilaron entre 6 y 9 *taxa*, dominando el ensamble *Chroococcus* (Cianofícea). En julio 2014, la riqueza en la Laguna La Punta osciló entre 7 y 14 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Denticula*. En la campaña de enero 2015, se detectaron para la riqueza valores entre 10 y 13 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Pseudostaurosira*.

En **Lagunas vecinas a Tilopozo** se observaron entre los años 2015 y 2016 un total de 69 *taxa fitoplanctónicas*, presentando una alta dominancia del género *Denticula* en el orden de 22 y 88% (MEL 2016), mientras que en **Vegas de Tilopozo** en el mismo período se registraron un total de 52 *taxa*, presentando una alta dominancia del género *Nitzschia* en el orden de 23 y 85% (MEL 2016).

vi. Zooplancton

Representado por organismos animales invertebrados, cuya característica distintiva es su tamaño, principalmente microscópico, con movilidad limitada y dependientes de los movimientos verticales y horizontales del agua (Samanez, Rimarachin, Palma, & Ortega, 2014). Son un grupo de organismos microscópicos heterótrofos (componente animal del plancton) (Wetzel, 2001), de los cuales los más conspicuos en ecosistemas salinos son los copépodos del género *Boeckella* y al branquiópodo *Artemia franciscana*, entre otros. Los organismos zooplanctónicos corresponden a los consumidores secundarios de los ecosistemas acuáticos, siendo activos filtradores de fitoplancton o bien, de dieta omnívora consumiendo tanto microalgas como zooplancteres en estado larvario. Son el eslabón entre los productores primarios y los niveles tróficos superiores, siendo predados también por la avifauna, las cuales se alimentan de los microorganismos que componen tanto el fitoplancton como el zooplancton.

En el **Sector La Punta** la composición zooplanctónica estuvo principalmente estructurada por copépodos de los órdenes Calanoida y Harpacticoidea, incluyendo a los calanoideos *Boeckella* sp, *Boeckella bergi* y *Boeckella titicacae* y los harpacticoideos de la familia Canthocamptidae como *Attheyella* sp. Otro grupo importante fue el crustáceo branquiopodo *Artemia franciscana*.

De manera aislada se identificaron ejemplares de los grupos Acari, gasterópodos de las familias Hydrobiidae, Cochliopidae y Planorbidae, rotíferos correspondientes a *Cephalodella* sp. y larvas de insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae, Chironomidae, Dolichopodidae, Empididae y Ephydriidae.

En todas las campañas realizadas en laguna La Punta (septiembre 2013 a verano 2016), la tendencia fue la dominancia de copépodos del género *Boeckella* seguido por copépodos Canthocamptidae o bien *Attheyella* sp., observándose la mayor riqueza total principalmente en primavera y verano (entre 1 y 6 *taxa*, respectivamente). En el caso de *Artemia franciscana* se encontró de manera secundaria en invierno y verano del 2015.

51

En el **Sector La Brava** la composición zooplanctónica estuvo representada por copépodos de los órdenes Calanoida, Ciclopoida y Harpacticoidea, incluyendo a los calanoideos *Boeckella* sp y los harpacticoideos de la familia Canthocamptidae como *Attheyella* sp. Otro grupo importante fue el crustáceo branquiópodo *Artemia franciscana*. De manera aislada se identificaron ejemplares de los grupos Acari, gasterópodos de la familia Cochliopidae, rotíferos correspondientes a *Cephalodella* sp. y larvas de insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae, Chironomidae, Dolichopodidae, Empididae, Ephydriidae y Elmidae.

Los *taxa* ampliamente dominante en laguna La Brava (de septiembre 2008 a verano 2016) fueron los copépodos de la familia Canthocamptidae, incluyendo a *Attheyella* sp. Luego en dominancia se encontraron los copépodos Ciclopoida, los calanoideos *Boeckella* sp. y el branquiópodo *Artemia franciscana*. Las mayores riquezas totales se observaron en primavera y verano (entre 1 y 7 *taxa*, respectivamente). Cabe señalar que *A. franciscana* fue encontrada a partir de julio de 2014, siendo dominante en invierno de 2015 junto con *Boeckella* sp., desplazando a los copépodos Canthocamptidae como dominantes.

En el **Sector Lagunas de Tilopozo** la composición zooplanctónica estuvo representada por copépodos de los órdenes Calanoida y Harpacticoidea, incluyendo a los calanoideos *Boeckella bergi* y los harpacticoideos de la familia Canthocamptidae. Otro grupo importante fue el branquiópodo *Artemia franciscana*. De manera aislada se identificaron ejemplares de grupos como gasterópodos de la familia Planorbidae y larvas de insectos dípteros de las familias Chironomidae, Dolichopodidae, Empididae, Ephydriidae y Psychodidae.

En todas las campañas realizadas en las lagunas cercanas a Tilopozo (otoño 2015 a verano 2016), la tendencia fue la dominancia de copépodos de la familia Canthocamptidae seguidos por el copépodo *Boeckella bergi* y el branquiópodo *Artemia franciscana*. Las mayores riquezas totales se observaron en otoño e invierno (entre 1 y 6 *taxa*). Cabe mencionar que *Boeckella bergi* fue principalmente dominante en invierno de 2015 y en el caso de *Artemia franciscana* se encontró en todas las campañas realizadas siendo dominante en algunas estaciones muestreadas en otoño, invierno y primavera del 2015.

En el caso de las **Vegas de Tilopozo**, la composición zooplanctónica estuvo principalmente estructurada por copépodos de los órdenes Calanoida y Harpacticoidea, incluyendo a los calanoideos *Boeckella bergi* y los harpacticoideos de la familia Canthocamptidae. Otros grupos importantes fueron Acari, gasterópodos de las familias Hydrobiidae, Cochliopidae y Planorbidae, gusanos Oligochaeta y larvas de insectos de las familias Chironomidae, Ephydriidae, Tipulidae, Dytiscidae, Elmidae, Lepidoptera y Odonata.

En las campañas realizadas en las Vegas de Tilopozo (verano 2015 a verano 2016), la tendencia en dominancia estuvo dada según la estación del año muestreada. Así, en verano 2015, primavera 2015 y verano 2016, dominaron los gasterópodos de las familias Cochliopidae y Planorbidae junto con gusanos oligoquetos, siendo secundarios en dominancia Acari y los copépodos Canthocamptidae. Para las campañas de otoño e invierno 2015, la especie dominante fue *Boeckella bergi*, junto con Acari, el insecto Odonata y el gasterópodo Planorbidae. La riqueza total osciló entre 3 y 9 *taxa*, tanto para otoño e invierno, como para primavera y verano.

Incorporar una tabla resumen de las lagunas (vertical) y las especies (horizontal), marcando con una x la presencia de las especies en las lagunas

vii. Zoobentos

Se refiere a la fauna de invertebrados que habita los sustratos sumergidos de los medios acuáticos. En el zoobentos se distinguen según su tamaño: macroinvertebrados y microinvertebrados (Alba-Tercedor, Pardo, Prat, & Pujante, 2005). En lagunas salinas el zoobentos está constituido por crustáceos como anfípodos (*Hyaella*) y copépodos (Canthocamptidae), gran cantidad de larvas de insectos (Chironomidae, Ceratopogonidae, Ephydriidae, Odonata, entre otros), moluscos gastrópodos como *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación “En Peligro Crítico” según el DS 52 MMA del 2014) y gusanos anélidos, entre otros. Los organismos zoobentónicos corresponden también a consumidores secundarios de los ecosistemas acuáticos, siendo activos carnívoros, herbívoros y detritívoros, siendo el eslabón entre los productores primarios y consumidores secundarios y los niveles tróficos superiores.

La composición zoobentonica en el **Sector La Punta** muestra dominancia principalmente de individuos de la familia Canthocamptidae, Ceratopogonidae y Ephydriidae, seguido de organismos del género *Hyaella* y *Heleobia*.

La campaña de primavera 2013 muestra una dominancia de la familia Ceratopogonidae e Hydrobiidae, seguido de componentes de la familia Chironomidae, Ephydriidae e Hyalellidae.

En la campaña otoño 2014 el subsistema fue dominado por la familia Amnicolidae, seguido de Ephydriidae y *Hyaella* sp. En invierno del mismo año la dominancia estuvo dada por la familia Cochliopidae, seguido por individuos de *Hyaella* sp. y de las familias Ceratopogonidae, Ephydriidae y Limoniidae. En la campaña de verano del 2015 dominó la familia Ceratopogonidae e individuos de *Heleobia atacamensis*, además se observaron organismos de la familia Ceratopogonidae, Ephydriidae, además de encontrarse *Hyaella* sp.

En la campaña de invierno 2015 el ensamble fue dominado por *Heleobia* sp., seguido de Canthocamptidae, *Hyaella* sp., Lumbriculidae, Stratiomyidae, Chironomidae y Ephydriidae. Durante la campaña de primavera de 2015 se observó una dominancia de Canthocamptidae, seguido por *Heleobia* sp., *Eucypris* sp., Lumbriculidae, *Hyaella* sp., Ceratopogonidae, Acari, Chironomidae, Dolichopodidae, Ephydriidae, Stratiomyidae y Syrphidae. Finalmente, en la campaña de verano del 2016, Canthocamptidae es el *taxa* dominante, seguido por Ceratopogonidae, *Heleobia* sp. y *Hyaella* sp. La riqueza total de este subsistema fue mayor en primavera (12 *taxa*) y menor en otoño (3 *taxa*).

Sector La Brava fue dominado principalmente por individuos de la familia Canthocamptidae, Ceratopogonidae y Ephydriidae, seguido de organismos de la familia Chironomidae y del género *Hyaella*.

La dominancia de individuos en la campaña primavera 2013 correspondió a Ceratopogonidae, seguido de Ephydriidae. En otoño del 2014 la dominancia fue de Ephydriidae y Stratiomyidae. La dominancia en invierno 2014 corresponde a las familias Cochliopidae, Chironomidae y Stratiomyidae, seguido de Ephydriidae, Lestidae y Ceratopogonidae. En verano 2015 los *taxa* dominante fue Canthocamptidae, seguido de Ceratopogonidae, Chironomidae, Ephydriidae e *Hyaella* sp.

Durante primavera del 2015 la dominancia fue de Canthocamptidae, seguido de Lumbriculidae, Ephydriidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, *Hyaella* sp. y *Heleobia* sp. En invierno 2015 el taxon dominante fue Canthocamptidae, seguido de Ceratopogonidae, Ephydriidae, Lumbriculidae y en menor presencia Dolichopodidae, Stratiomyidae y *Hyaella* sp. Finalmente en verano 2016 Canthocamptidae fue el *taxa* dominante, seguido más atrás por Ceratopogonidae Dolichopodidae Chironomidae y *Heleobia* sp.

La riqueza total máxima de Laguna La Brava fue en el periodo invierno-primavera de 2015 con 7 *taxa* y la riqueza mínima fue en primavera 2013 y otoño 2014 con 2 *taxa*.

En las **Lagunas de Tilopozo**, Canthocamptidae, Ephydriidae y Ceratopogonidae fueron las familias dominantes para todas las campañas de muestreo (primavera e invierno 2015 y verano 2016), además se registró la presencia de Dolichopodidae y Stratiomyidae en primavera e invierno 2015, mientras que en verano 2016 se observó Chironomidae y Sciomyzidae. La riqueza total fue de 5 *taxa* en todas las campañas. Mientras que para el mismo período en Vegas de Tilopozo la familia Ephydriidae fue el único taxón que se encontró en todas las campañas, sin embargo, Acari y Elmidae fueron dominantes en la campaña de invierno 2015, mientras que en verano 2016 fue dominante Stratiomyidae, seguido por Thysanoptera, Acari, Corixidae y Elmidae. La mayor riqueza correspondió a 6 *taxa* en verano del 2016.

Incorporar una tabla resumen de las lagunas (vertical) y las especies (horizontal), marcando con una x la presencia de las especies en las lagunas

viii. Plantas vasculares acuáticas

Los también llamados hidrófitos acuáticos, corresponden a las plantas acuáticas o flora hidrófila que crece en humedales, especialmente dulceacuícolas, conformando el eslabón inicial de varias cadenas tróficas y sirviendo de lugar de refugio, alimentación y anidamiento de numerosos animales, especialmente aves (CONAMA, 2008).

Para las plantas acuáticas en el **Sector La Punta**, se observaron un total de seis especies. Entre ellas se encuentran la hidrófita *Ruppia filifolia*, y las helófitas *Sarcocornia fruticosa*, *Puccinellia frigida* y *Triglochin palustris*, registradas en sustratos arenosos de la laguna (MEL 2016). Mientras que, en las campañas de 2014, se suman otras dos especies de helófitas, *Patosia clandestina* y *Potamogeton pectinatus*.

En el **Sector La Brava**, se observaron un total de cuatro especies entre las que se encuentran la hidrófita *Ruppia filifolia*, y las helófitas *Sarcocornia fruticosa*, *Puccinellia frigida* y *Triglochin palustris*. Todas fueron detectadas en sustratos franco-arenosos de la laguna (MEL 2016).

En septiembre del 2013, se registró en todos los puntos de las lagunas La Brava la especie *R. filifolia*. En las campañas 2014, se registraron dos especies las helófitas *Patosia clandestina* y *Potamogeton pectinatus*.

En **Lagunas de Tilopozo**, se registró un total de cuatro especies entre las que se encuentran las helófitas *Sarcocornia fruticosa* y *Triglochin palustris*. Todas fueron detectadas en sustratos franco-arenosos de la laguna (MEL 2016), mientras que en **Vegas de Tipopozo** se observaron un total de cuatro especies entre las que se encuentran las helófitas *Baccharis juncea*, *Schoenoplectus americanus*, *Tessaria absinthioides*, *Distichlis spicata*, *Juncus balticus*, *Pilipogon interruptus* y *Zannichellia palustris*. Todas fueron detectadas en sustratos orgánicos de la vega (MEL 2016).

6.1.2.2 Subsistema Peine

i. Funcionamiento hidrogeológico

El subsistema Peine se encuentra ubicado en la zona sur del salar de Atacama, cercano al poblado del mismo nombre. Está conformado por el conjunto de lagunas Salada, Saladita e Interna. Las dos primeras se desarrollan en la zona marginal del Salar, y la laguna Interna se desarrolla parte en la zona marginal y parte en el núcleo. En la Figura 6-13 se muestra la ubicación y disposición de las lagunas que componen el Subsistema Peine.

Referente a la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas del Subsistema Peine, el análisis integrado realizado por Rockwood Lithium Ltda. (2015) establece que:

- Las lagunas Salada y Saladita no presentan variaciones considerables de nivel, ni muestran ser afectadas/alteradas por los eventos de precipitación.
- La laguna Interna mostró un descenso constante en el período 2007 a 2010, para luego mostrar una estabilización de sus niveles. Esto puede estar asociado a que ella si mostró una relación ante los eventos de precipitación.
- Tanto el acuífero dulce-salobre como el de salmuera (núcleo) mostraron un comportamiento estacional de sus niveles, pero tan solo el acuífero de salmuera mostró una respuesta de sus niveles ante los eventos de precipitación.
- No se evidenció una relación entre el nivel del acuífero dulce-salobre y los niveles de las lagunas respecto de los niveles del acuífero de salmuera del núcleo del Salar.
- El afloramiento principal está situado al Sureste del subsistema de lagunas, teniéndose unos pocos afloramientos menores a lo largo de los canales de conexión entre lagunas y las lagunas mismas.
- La tasa de evaporación directa, desde los cuerpos de aguas y láminas de agua, es de mucha relevancia en el subsistema, correspondiendo al principal mecanismo de pérdida/salida de aguas desde el subsistema.
- Lo anterior determina un marcado gradiente espacial y temporal en las variables de salinidad y conductividad eléctrica, las cuales son estructurales al ecosistema.

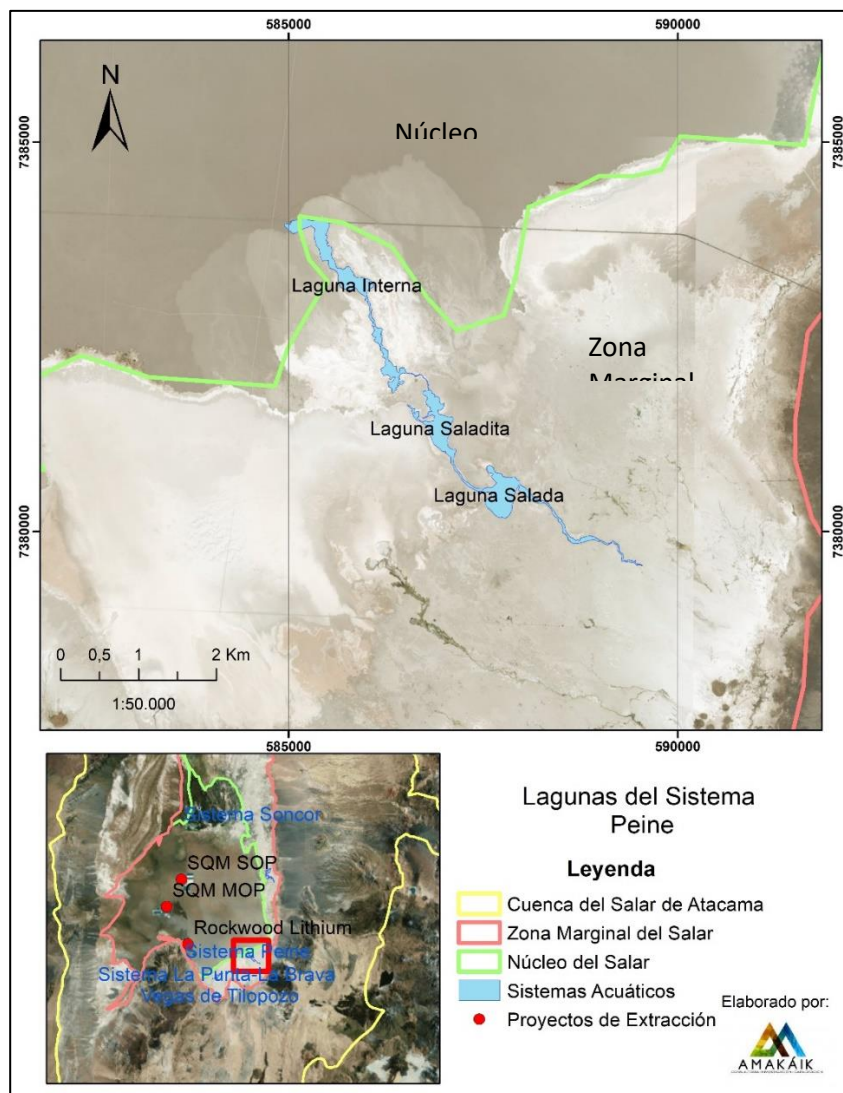


Figura 6-13: Ubicación de las lagunas del Subsistema Peine

De esta manera, los autores proponen un modelo conceptual del funcionamiento del Subsistema Peine (Figura 6-14), en el cual se plasma la dependencia del subsistema respecto del afloramiento en su cabecera (Sureste), identificándose los flujos de aguas entrantes y salientes de cada una de las partes del subsistema. En general, las principales forzantes físicas de este subsistema corresponden al afloramiento (consecuencia del nivel freático del acuífero dulce-salobre) y la evaporación de las aguas en las lagunas y canales que componen el subsistema.

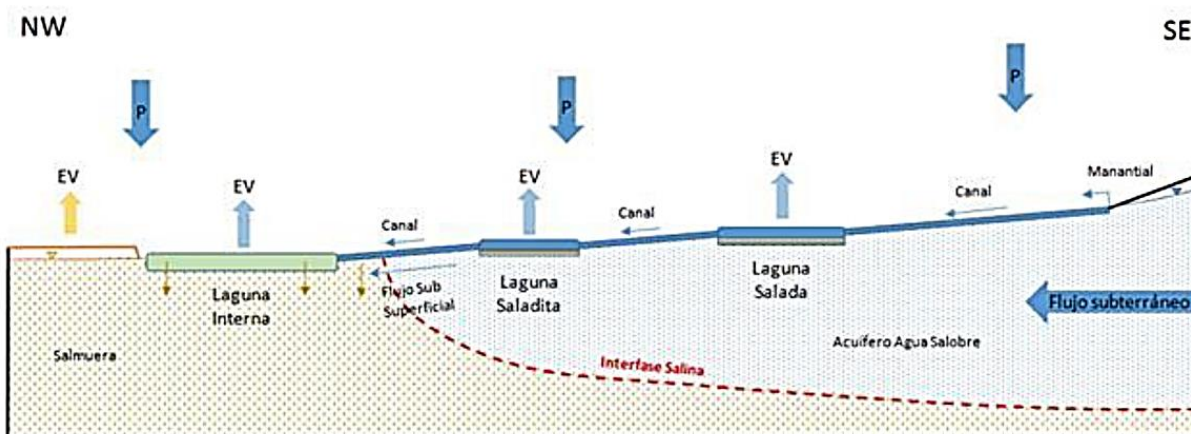


Figura 6-14: Modelo conceptual del funcionamiento de la dinámica de aguas superficiales y subterráneas del Subsistema Peine. Fuente: Rockwood Lithium Ltda, 2015

ii. Calidad de agua

La conductividad específica y la salinidad son variables determinantes en este subsistema. La conductividad muestra un aumento desde laguna Salada hacia laguna Interna, además hay evidencia de importantes variaciones temporales, con mayores valores en verano. El promedio observado en invierno es de 40 mS/cm, sin embargo, hay un aumento considerable de esta variable en el verano donde, los valores promedian los 148 mS/cm. Por otra parte, las lagunas presentan un marcado carácter básico con un pH por sobre un valor de 8.

iii. Tapetes microbianos

El plan de manejo biótico desarrollado para Rockwood Lithium (2015) bajo el EIA "Modificaciones y mejoramiento del sistema de pozas de evaporación solar en el Salar de Atacama" indica que existe la ocurrencia de tapetes microbianos en el Subsistema Peine, compuesto por las lagunas Salada, Interna y Saladita. Sin embargo, no se cuenta con datos cuantitativos y de composición para estos.

iv. Fitobentos

En general en el sector Peine incluye las lagunas Salada, Saladita e Interna, en la campaña primavera de 2008 se reportaron las riquezas de las lagunas Interna y Salada, Saladita no fue muestreada (Rockwood Lithium 2015). La riqueza para la Laguna Interna osciló entre 8 y 14 *taxa*, en tanto en la Laguna Salada osciló entre 9 y 15 *taxa*. La especie dominante en estas lagunas correspondió a *Mastogloia*.

En la campaña de septiembre 2013, se reportó en la Laguna Salada una riqueza que osciló entre 6 y 12 *taxa*. El taxón dominante correspondió a *Nizschia* (diatomea). En relación con las Lagunas Saladita e Interna, se observó que la riqueza en Interna osciló entre 2 y 12 *taxa*, siendo el taxón dominante *Denticula*. En tanto, en Saladita la riqueza fue de 8 *taxa*, dominando el taxón *Navicula* (Rockwood Lithium 2015).

En abril 2014, la riqueza en la Laguna Salada osciló entre 9 y 14 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Amphora*. En la Laguna Saladita se observó una riqueza de 13 *taxa* y el taxón dominante correspondió a la diatomea *Diatoma*. En la Laguna Interna, en tanto, la riqueza osciló entre 9 y 11 *taxa*, el taxón dominante correspondió a la diatomea *Diatoma*. En julio 2014, la riqueza en la Laguna Salada osciló entre 7 y 14 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Amphora*. En la Laguna Saladita se observó una riqueza de 9 *taxa* y el taxón dominante correspondió a la diatomea *Amphora*. En la Laguna Interna, en tanto, la riqueza osciló entre 6 y 11 *taxa*, el taxón dominante correspondió a la diatomea *Amphora* (Rockwood Lithium 2015).

En enero 2015, la riqueza en la Laguna Salada osciló entre 8 y 13 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Pseudostaurosira*. En la Laguna Saladita se observó una riqueza de 9 *taxa* y el taxón dominante correspondió a la diatomea *Achnanthes*. En la Laguna Interna, en tanto, la riqueza osciló entre 6 y 12 *taxa*, el taxón dominante correspondió a la diatomea *Achnanthes* (Rockwood Lithium 2015).

Dado que para este componente del subsistema Peine los resultados provienen únicamente del operador Rockwood Lithium (2015) se presenta la información sistematizada en la Tabla 6-6.

v. Fitoplancton

En general en el sector Peine (Tabla 6-6) que incluye las lagunas Salada, Saladita e Interna en primavera de 2008 se reportaron las riquezas de las lagunas Interna y Salada, Saladita no fue muestreada (Rockwood Lithium 2015). La riqueza para la Laguna Interna osciló entre 2 y 11 *taxa*, en tanto en la Laguna Salada osciló entre 3 y 12 *taxa*. Las especies dominantes en estas lagunas correspondieron a *Denticula* y *Achnanthes* respectivamente.

En la campaña de septiembre 2013, se reportó en la Laguna Salada una riqueza que osciló entre 7 y 18 *taxa*. El taxón dominante correspondió a *Navicula* (diatomea). En relación con las Lagunas Saladita e Interna, se observó que la riqueza en Interna osciló entre 5 y 13 *taxa*, siendo el taxón dominante *Denticula*. En tanto, en Saladita la riqueza fue de 6 *taxa*, dominando el taxón *Navicula* (Rockwood Lithium 2015).

En abril 2014, la riqueza en la Laguna Salada osciló entre 8 y 13 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Cocconeis*. En la Laguna Saladita se observó una riqueza de 11 *taxa* y el taxón dominante correspondió a la diatomea *Amphora*. En la Laguna Interna, en tanto, la riqueza osciló entre 8 y 14 *taxa*, el taxón dominante correspondió a una diatomea no identificada a nivel del género ni especie. En julio 2014, la riqueza en la Laguna Salada osciló entre 9 y 11 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Amphora*. En la Laguna Saladita se observó una riqueza de 7 *taxa* y el taxón dominante correspondió a la diatomea *Amphora*. En la Laguna Interna, en tanto, la riqueza osciló entre 3 y 10 *taxa*, el taxón dominante correspondió a la diatomea *Achnanthes* (Rockwood Lithium 2015).

En enero 2015, la riqueza en la Laguna Salada osciló entre 8 y 12 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Achnanthes*. En la Laguna Saladita se observó una riqueza de 10 *taxa* y el taxón dominante correspondió a la diatomea *Staurosirella*. En la Laguna Interna, en tanto, la riqueza osciló entre 8 y 11 *taxa*, el taxón dominante correspondió a la diatomea *Amphora* (Rockwood Lithium 2015).

Tabla 6-6: Resumen de las campañas realizadas por Rockwood Lithium para los componentes de fitobentos y fitoplancton

COMPONENTE	SECTOR	CAMPAÑA	LAGUNAS	RIQUEZA	ESPECIE DOMINANTE
Fitobentos	Peine	Primavera 2008	Salada	9-15 taxa	<i>Mastogloia</i>
			Saladita	-	-
			Interna	8-14 taxa	<i>Mastogloia</i>
		Septiembre -2013	Salada	6-12 taxa	<i>Nitzschia</i>
			Saladita	8 taxa	<i>Navicula</i>
			Interna	2-12 taxa	<i>Denticula</i>
		Abril -2014	Salada	9-14 taxa	<i>Amphora</i>
			Saladita	13 taxa	<i>Diatoma</i>
			Interna	9-11 taxa	<i>Diatoma</i>
		Julio -2014	Salada	7-14 taxa	<i>Amphora</i>
			Saladita	9 taxa	<i>Amphora</i>
			Interna	6-11 taxa	<i>Amphora</i>
		Enero -2015	Salada	8-13 taxa	<i>Pseudostaurosira</i>
			Saladita	9 taxa	<i>Achnanthes</i>
			Interna	6-12 taxa	<i>Achnanthes</i>
Fitoplancton	Peine	Primavera 2008	Salada	3-12 taxa	<i>Achnanthes</i>
			Saladita	-	-
			Interna	2-11 taxa	<i>Denticula</i>
		Septiembre -2013	Salada	7.18 taxa	<i>Navicula</i>
			Saladita	6 taxa	<i>Navicula</i>
			Interna	5-13 taxa	<i>Denticula</i>
		Abril -2014	Salada	8-13 taxa	<i>Cocconeis</i>
			Saladita	11 taxa	<i>Amphora</i>
			Interna	8-14 taxa	Bacillariophyceae
		Julio -2014	Salada	9-11 taxa	<i>Amphora</i>
			Saladita	7 taxa	<i>Amphora</i>
			Interna	3-10 taxa	<i>Achnanthes</i>
		Enero -2015	Salada	8-12 taxa	<i>Achnanthes</i>
			Saladita	10 taxa	<i>Staurosirella</i>
			Interna	8-11 taxa	<i>Amphora</i>

vi. Zooplancton

En la laguna Salada la composición zooplanctónica estuvo representada por copépodos de los órdenes Calanoida, Ciclopoida y Harpacticoidea, incluyendo a los calanoideos *Boeckella* sp y los harpacticoideos de la familia Canthocamptidae como *Attheyella* sp. Otros grupos importantes fueron el ostrácodo *Eucypris* sp., los rotíferos correspondientes a *Brachionus plicatilis*, *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus* sp. y *Cephalodella* sp y gusanos Nematoda. De manera aislada se identificaron ejemplares de *Artemia franciscana*, gasterópodos de la familia Hydrobiidae y *Littoridina* sp. y larvas de insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae, Dolichopodidae, Ephydriidae y Syrphidae.

En las campañas realizadas en la Laguna Salada (septiembre 2008 a enero 2015), la tendencia en dominancia estuvo dada según la campaña muestreada. Así, en septiembre 2008 y abril 2009, dominaron los copépodos Cyclopoida y los ostrácodos *Eucypris* sp., registrándose en algunas estaciones dominancia del díptero Dolichopodidae. Luego, desde septiembre de 2013 a julio de 2014, hubo una alta dominancia de *Attheyella* sp. acompañada en algunos casos de altas dominancias de *Brachionus plicatilis* y *Brachionus* sp. y secundariamente de *Boeckella* sp y copépodos Ciclopoida. En la campaña de enero de 2015 los grupos que dominaron fueron los copépodos Canthocamptidae, gusanos Nematoda y *Artemia franciscana*.

En la laguna Saladita la composición zooplanctónica estuvo representada de manera similar que, en laguna Salada, es decir, por copépodos de los órdenes Calanoida, Ciclopoida y Harpacticoidea, incluyendo a los calanoideos *Boeckella* sp y los harpacticoideos de la familia Canthocamptidae como *Attheyella* sp. Otros grupos importantes fueron los rotíferos *Brachionus plicatilis* y el branquiópodo *Artemia franciscana*. De manera secundaria se identificaron anfípodos *Hyaella* sp. y larvas de insectos dípteros de la familia Ceratopogonidae.

En las campañas realizadas en la Laguna Saladita (septiembre 2008 a enero 2015), la tendencia en dominancia estuvo dada según la campaña muestreada. Así, en septiembre 2008 y abril 2009, dominaron los copépodos Cyclopoida seguido por dípteros Ceratopogonidae y anfípodos *Hyaella* sp. Luego, desde septiembre de 2013 a julio de 2014, hubo una alta dominancia de *Attheyella* sp., acompañadas en algunos casos de altas dominancias de *Brachionus plicatilis* (al igual que en laguna Salada) y secundariamente de *Artemia franciscana*. *Boeckella* sp y copépodos Ciclopoida. En la campaña de enero de 2015 los grupos que dominaron fueron los copépodos Canthocamptidae y *Artemia franciscana*.

En la laguna Interna la composición zooplanctónica estuvo representada por copépodos de los órdenes Calanoida, Ciclopoida y Harpacticoidea, incluyendo a los calanoideos *Boeckella* sp., los ciclopoides *Metacyclops* sp. y *Paracyclops* sp. y los harpacticoideos de la familia Canthocamptidae incluyendo *Attheyella* sp. Otros grupos importantes fueron el anfípodo *Hyaella* sp., los rotíferos *Brachionus plicatilis*. y *Cephalodella* sp y larvas de insectos dípteros de la familia Ceratopogonidae. También se encontraron ejemplares de *Artemia franciscana*, gusanos Nematoda y larvas de insectos dípteros de las familias Chironomidae, Empididae, Ephydriidae, Stratiomyidae y Tipulidae.

En las campañas realizadas en la Laguna Interna (septiembre 2008 a enero 2015), la tendencia en dominancia estuvo dada según la campaña muestreada. Así, en septiembre 2008 y abril 2009, dominaron dípteros Ceratopogonidae y anfípodos *Hyaella* sp., seguidos por copépodos Cyclopoida (*Metacyclops* sp. y *Paracyclops* sp.) y Harpacticoidea. Luego, en septiembre de 2013, hubo una alta dominancia del rotífero *Brachionus plicatilis* y el copépodo *Attheyella* sp., acompañadas en algunos casos de *Artemia franciscana*. En esta campaña se hizo notorio un gradiente de concentración de organismos de sur a norte en laguna Interna. En abril y julio de 2014, la dominancia fue principalmente de copépodos, siendo el más dominante *Attheyella* sp., seguido por Cyclopoida y *Boeckella* sp. En la campaña de enero de 2015 los grupos que dominaron fueron los copépodos Canthocamptidae, seguidos por *Artemia franciscana*, además de insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae y Ephydriidae (principalmente) y gusanos Nematoda.

vii. Zoobentos

El sector Peine se encuentra conformado por las lagunas Interna, Salada y Saladita, a continuación, se describe el zoobentos registrado.

En la Laguna Interna se observó la dominancia de Ephydriidae, seguido de Empididae en la campaña de primavera del 2013. En otoño del 2014 Ephydriidae fue el único taxon que se registró. En invierno 2014 Cochliopidae dominó el subsistema, seguido de Ephydriidae. En la campaña de verano 2015 el taxon dominante fue Canthocamptidae, seguido de Ceratopogonidae y Chironomidae. La mayor riqueza se registró en verano con 3 *taxa* y la menor en otoño con 1 taxon.

La Laguna Salada mostró la dominancia de Ephydriidae, seguido de Amnicolidae en las campañas de primavera 2013 y otoño 2014. En invierno 2014 Cochliopidae fue la familia dominante, seguido de Hyalellidae, Ephydriidae, Ceratopogonidae y Chironomidae. Canthocamptidae fue el taxon dominante en la campaña de verano 2015, seguido por *Heleobia atacamensis*, Ceratopogonidae y Ephydriidae. La riqueza total fue mayor en verano e invierno con 5 *taxa* y menor en otoño y primavera con 2 *taxa*.

La dominancia en la campaña de primavera 2013 para Laguna Saladita fue de la familia Amnicolidae, seguida de Ephydriidae. En invierno 2014 el taxon dominante fue Cochliopidae, con presencia menor de Ceratopogonidae y Ephydriidae. Finalmente, en verano 2015 Canthocamptidae fue dominante, seguido de *Heleobia atacamensis* y Ceratopogonidae. La riqueza total fluctuó entre 2-3 *taxa* en las distintas campañas.

viii. Plantas vasculares acuáticas

El sector Peine incluye las lagunas Salada, Saladita e Interna, en el estudio de la Sociedad Chilena del Litio 2008, se reportó la presencia de la hidrófita acuática *Ruppia filifolia*. En la campaña de 2008 se registró en Salada *R. filifolia*, en primavera 2013 fue detectada en las lagunas Interna y Saladita.

6.1.2.3 Subsistema Aguas de Quelana

i. Funcionamiento hidrogeológico

El Subsistema Aguas de Quelana se ubica en la zona Este del Salar de Atacama sobre la Zona Marginal. Está conformado por un conjunto de lagunas de baja profundidad. Ellas se sitúan a los pies de depósitos aluviales que le dan conectividad con las Quebradas de Camar y El Toro. En la Figura 6-15 se muestra la ubicación y disposición del Subsistema Aguas de Quelana.

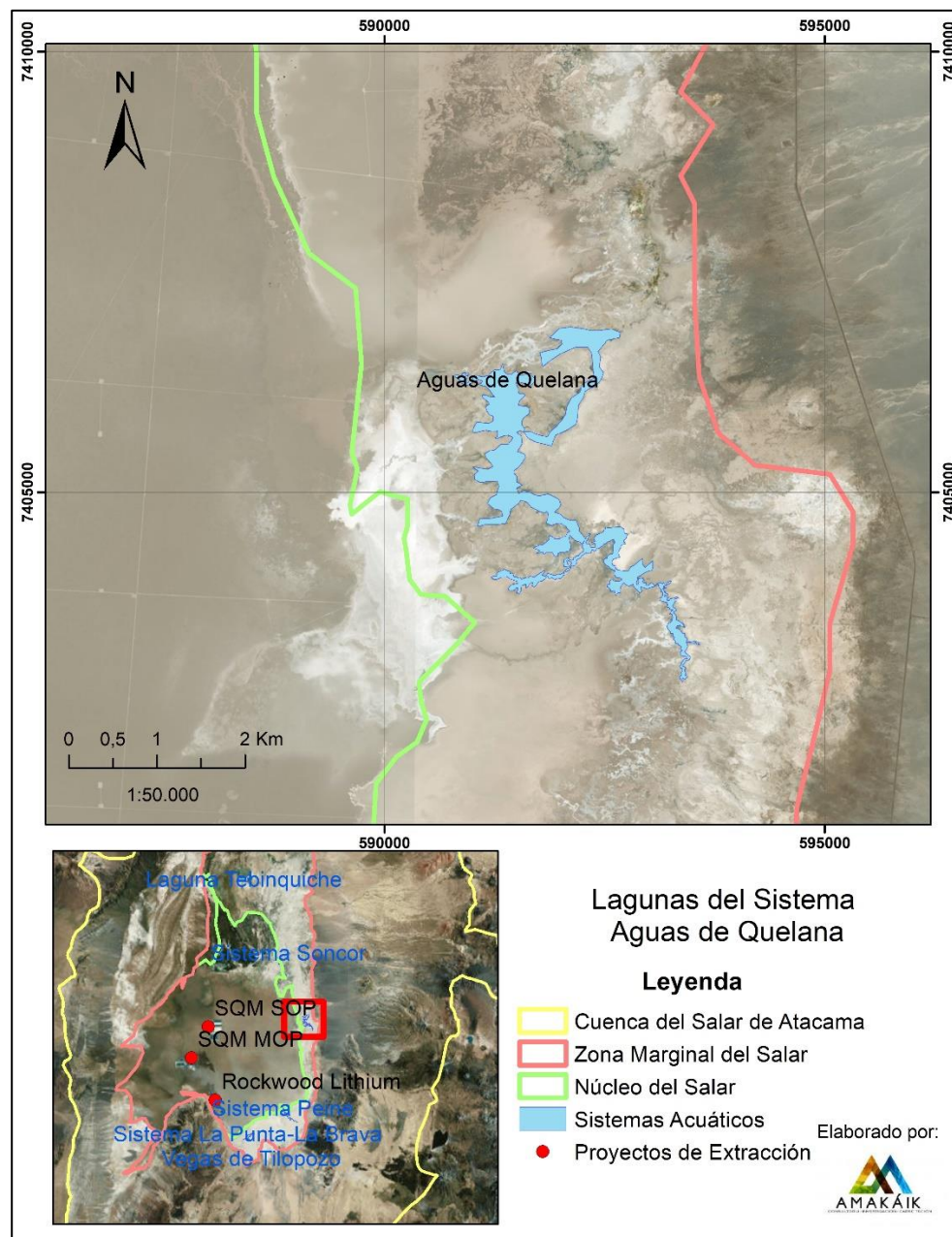


Figura 6-15: Ubicación de las lagunas del Subsistema Aguas de Quelana

Respecto a la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas del Subsistema Aguas de Quelana, el análisis integrado realizado por el CEA (2015) establece que:

- En los pozos de salmuera situados sobre el núcleo se observan descensos de los niveles, con respuestas bruscas a los eventos importantes de precipitación.
- En los pozos de salmuera, situados más próximos a las lagunas, pero sobre la Zona Marginal, los niveles se mantienen estables, no observándose ninguna tendencia clara, pero con oscilaciones estacionales invierno-verano y repuestas de ascenso de nivel en los eventos importantes de precipitación.
- En las aguas del acuífero dulce-salobre situadas sobre la Zona Marginal, se observa una clara oscilación estacional, con una tendencia estable (o de descenso si se encuentran próximas al núcleo o a los depósitos aluviales del Este) y con ascensos provocados por eventos de precipitación importantes.
- En las aguas del acuífero dulce-salobre situadas en los depósitos aluviales, al Este de la Zona Marginal, se observa una tendencia general al descenso de niveles, acentuada a partir de 2008 por el inicio de bombeos de agua dulce por parte de SQM.
- Asociada a las oscilaciones observadas, se han evidenciado variaciones temporales en las variables de salinidad y conductividad eléctrica.

Los autores proponen un modelo conceptual del funcionamiento del Subsistema Aguas de Quelana (Figura 6-16), donde se evidencia que las aguas que afloran en la zona Este, permiten el desarrollo del subsistema. Cabe señalar que el afloramiento es localizado en la cercanía de las zonas inundadas.

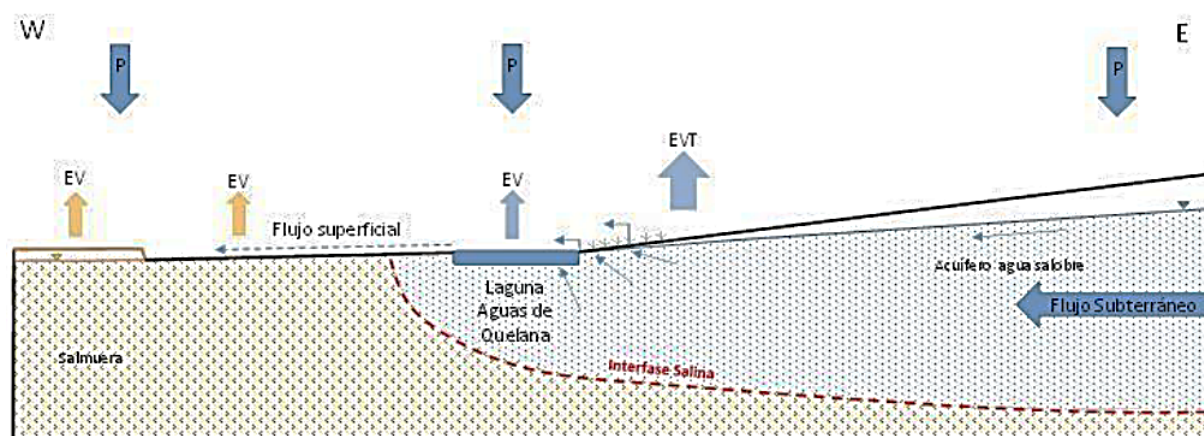


Figura 6-16: Modelo conceptual del funcionamiento de la dinámica de aguas superficiales y subterráneas del Subsistema Aguas de Quelana. Fuente: Rockwood Lithium Ltda, 2015

ii. Calidad de agua

Desde el punto de vista de la calidad química este subsistema presenta una clara oscilación estacional, con una tendencia estable, se evidenciaron variaciones temporales en las variables de salinidad y conductividad eléctrica, con un promedio de 103 mS/cm. EL pH presenta una tendencia a ser neutro en verano y básico en invierno.

iii. Tapetes microbianos

El plan de manejo biótico desarrollado para Rockwood Lithium (2015) bajo el EIA “Modificaciones y mejoramiento del sistema de pozas de evaporación solar en el Salar de Atacama” indica que existe la ocurrencia de tapetes microbianos en el Subsistema Aguas de Quelana. Sin embargo, no se cuenta con datos cuantitativos y de composición para estos.

63

iv. Fitobentos

En octubre 2004 se generó una línea de base realizada Igsa Consultores y SQM Salar S.A, las que consignaron una riqueza de especies que osciló entre 3 y 23 especies. Presentando como taxón dominante a la diatomea *Nitzschia* sp.

En estudio de Rockwood Lithium 2015, se muestra la campaña de septiembre 2013 donde se detectó que la riqueza de fitobentos osciló entre 4 y 11 *taxa*. El taxón dominante correspondió a la diatomea *Navicula* sp.

En abril de 2014, la riqueza en Aguas de Quelana osciló entre 0 y 15 *taxa*, dominando el ensamble la cianófita *Oscillatoria*. En julio de 2014, la riqueza en Aguas de Quelana osciló entre 7 y 9 *taxa*, dominando el ensamble la cianófita *Oscillatoria* (Rockwood Lithium 2015). En enero 2015, la riqueza osciló entre 10 y 12 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Pseudostaurosira* (Rockwood Lithium 2015).

v. Fitoplancton

En octubre 2004 se generó una línea de base realizada Igsa Consultores y SQM Salar S.A, las que consignaron una riqueza de especies que osciló entre 5 y 23 especies. Presentando como taxón dominante a la diatomea *Nitzschia*. En estudio de Rockwood Lithium 2015, se muestra la campaña de septiembre 2013 donde se detectó que la riqueza de fitoplancton osciló entre 1 y 6 *taxa*. El taxón dominante correspondió a la clorófita *Dunaliella* cf. *salina*.

En abril de 2014, la riqueza en Aguas de Quelana osciló entre 0 y 14 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Entomoneis*. En julio de 2014, la riqueza en Aguas de Quelana osciló entre 5 y 7 *taxa*, dominando el ensamble la clorófita *Chlamydomonas* (Rockwood Lithium 2015). En enero 2015, la riqueza osciló entre 10 y 13 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Pseudostaurosira* (Rockwood Lithium 2015).

vi. Zooplancton

En las lagunas de Aguas de Quelana la composición zooplanctónica estuvo representada por copépodos de los órdenes Calanoida, Cyclopoida y Harpacticoida, incluyendo a los calanoideos *Boeckella* sp., los cyclopoides *Metacyclops* sp. y *Paracyclops fimbriatus*, y los harpacticoides de la familia Canthocamptidae incluyendo a *Attheyella* sp. y *Mesochra* sp. Otros grupos importantes fueron *Artemia franciscana*, el ostrácodo *Eucypris* sp., el anfípodo *Hyaella* sp. y larvas de insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae, Chironomidae, Ephyridae y Zygoptera. De manera aislada se identificaron ejemplares del rotífero *Brachionus calyciflorus*, Acari, gusanos Nematoda y Collembola.

En las campañas realizadas en Aguas de Quelana (octubre 2004 a enero 2015), la tendencia en dominancia estuvo dada según la campaña muestreada. Así, en octubre de 2004, dominaron principalmente copépodos *Mesochra* sp. (Canthocamptidae), ostrácodos *Eucypris* sp. y anfípodos *Hyaletta* sp. Cabe mencionar que estos organismos son generalmente clasificados como bentónicos, sin embargo y a pesar de su limitada capacidad natatoria, logran estar en la columna de agua en algunos momentos conformando parte del plancton. La riqueza específica en esta campaña varió entre 2 y 6 *taxa*. La siguiente campaña que se tiene registro es en septiembre de 2013, entre esta última y julio de 2014, la dominancia de zooplancteres estuvo dominada por *Attheyella* sp. (Canthocamptidae), seguida por los copépodos *Boeckella* sp. y Cyclopoida, siendo acompañadas en un solo caso de *Artemia franciscana*. En la campaña de enero de 2015 los grupos que dominaron fueron los copépodos Canthocamptidae e insectos dípteros de la familia Ephydriidae.

vii. Zoobentos

Las campañas de primavera 2013, otoño e invierno 2014 solo registran individuos de la familia Ephydriidae. En verano 2015 la dominancia fue de la familia Ephydriidae, seguido más atrás por Canthocamptidae, *Heleobia atacamensis*, Dolichopodidae y Ceratopogonidae, siendo el periodo con mayor riqueza total (5 *taxa*).

viii. Plantas vasculares acuáticas

En octubre de 2004, se consignó la presencia de *Ruppia marítima* en el sector Aguas de Quelana.

6.1.2.4 Subsistema Soncor

i. Funcionamiento hidrogeológico

El Subsistema Soncor se sitúa en la zona Noreste de la Zona Marginal del Salar de Atacama, al suroeste del delta del río San Pedro. El subsistema está conformado por las lagunas Chaxa, Barros Negros y Puilar. La laguna Chaxa es alimentada desde el norte por el Canal del Burro Muerto, para luego descargar parte de las aguas por un canal hacia la laguna Barros Negros. Las lagunas Chaxa y Barros Negros se sitúan sobre el acuífero de salmuera, y la laguna Puilar se encuentra cercana a la interfase salina. En la Figura 6-17 se muestra la ubicación y disposición de las lagunas que componen el Subsistema Soncor.

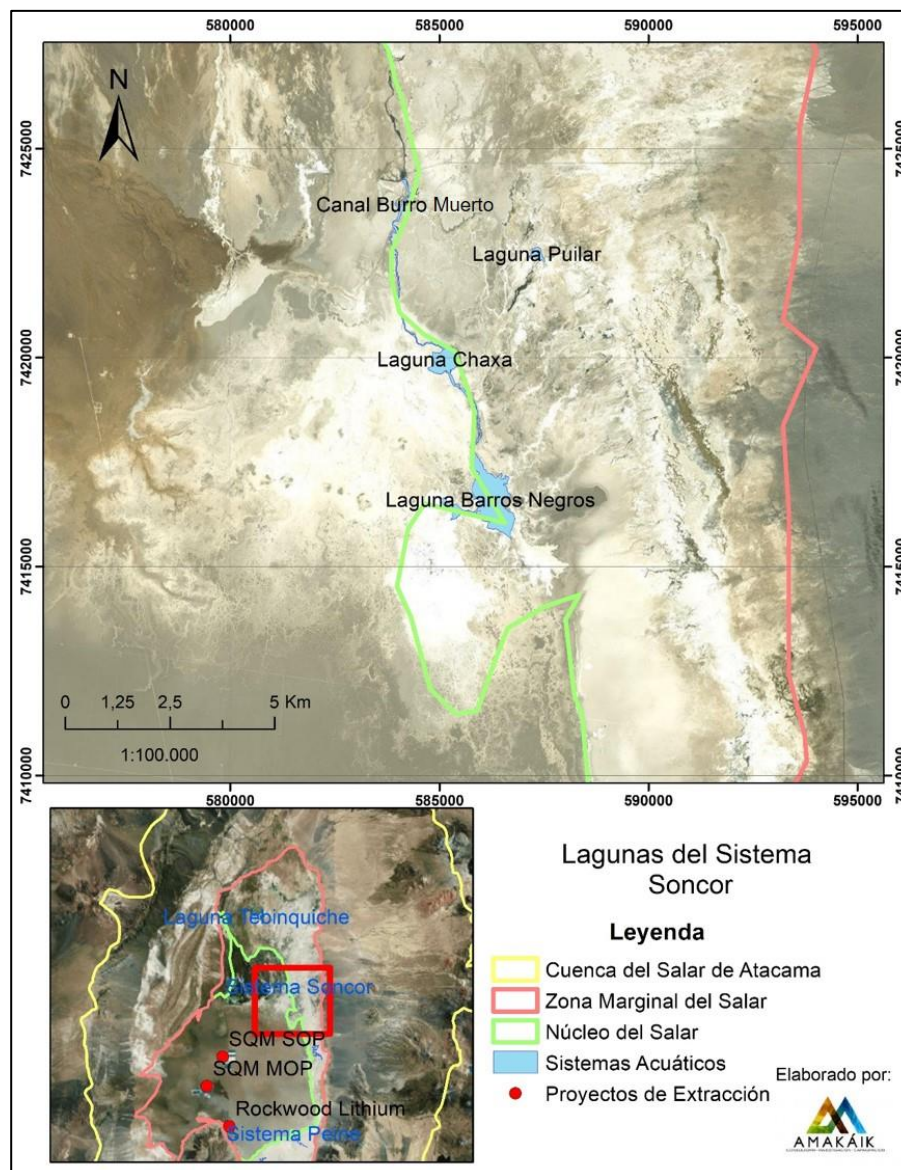


Figura 6-17: Ubicación de los canales y lagunas que componen el Subsistema Soncor

Referente a la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas del Subsistema Soncor, el análisis integrado realizado por el CEA (2015) establece que:

- Los pozos de salmuera ubicados sobre el núcleo del Salar muestran descensos de los niveles, con rápida respuesta a los eventos importantes de precipitación.

- En los pozos de salmuera, situados más próximos a las lagunas, pero sobre la Zona Marginal, los niveles descienden hasta el año 2007, para posteriormente estabilizarse. Además, se observan oscilaciones estacionales invierno-verano y respuestas de ascenso de nivel en los eventos importantes de precipitación.
- En las aguas del acuífero dulce-salobre situadas sobre la Zona Marginal, se observa una clara oscilación estacional, sin encontrarse evidencias de ascensos de nivel por precipitaciones.
- En las aguas del acuífero situado en los depósitos aluviales, al Este de la Zona Marginal, se observa una tendencia general al descenso de niveles, acentuada probablemente por el inicio de bombeos de agua dulce por parte de SQM (año 2008).
- Las lagunas muestran estacionalidad en sus niveles, forzada por los procesos de evaporación.
- La alta salinidad y conductividad de estas lagunas estaría relacionada con la localización (dentro del núcleo), mayor cuenca aportante y/o diferencias en los procesos de alimentación de aguas.

De esta forma, los autores proponen un modelo conceptual del funcionamiento del Subsistema Soncor (Figura 6-18), donde se evidencia que las aguas que afloran en la zona norte logran mantener al subsistema completo.

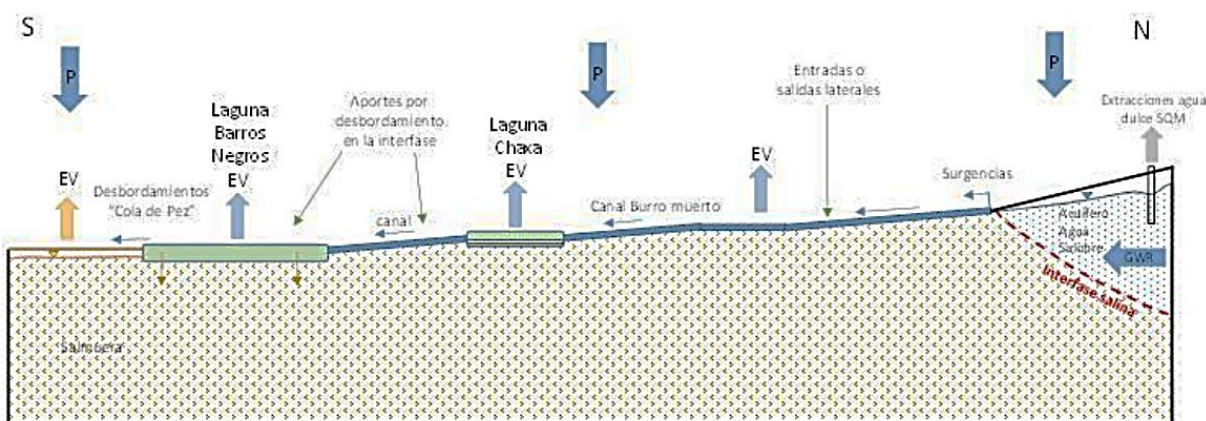


Figura 6-18: Modelo conceptual del funcionamiento de la dinámica de aguas superficiales y subterráneas del Subsistema Soncor. Fuente: Rockwood Lithium Ltda, 2015

ii. Calidad de agua

Este subsistema se destaca debido a que las tres lagunas permanentes son de grandes extensiones y de inundación estacional. Se evidencia la presencia del canal Burro Muerto, que alimenta el sector Soncor desde el margen norte del Salar (entre los deltas de los ríos San Pedro y Vilama), atravesando la laguna de Chaxa, y desembocando en Barros Negros. (Rockwood Lithium Ltda, 2016).

En términos de los parámetros físicos y químicos del agua, este subsistema, y en especial la laguna Barros Negros, mostró los valores más altos de conductividad, con importantes variaciones temporales, que van desde los 4 a los

160 mS/cm., con los mayores registros en verano, y un gradiente espacial claro de aumento desde la laguna Chaxa hacia la laguna Barros Negros. El promedio de pH evidenciado en estas lagunas bordea el valor 8.

iii. Tapetes microbianos

El Subsistema Soncor muestra riqueza total de 12 *taxa* microbianos distintos asociados a 2 investigaciones distintas, la campaña del 2007 (Demergasso et al. 2007) con 2 *taxa* y la campaña del 2012 con 10 *taxa* (Lara et al. 2012) donde se encontró lo siguiente: *Bacillus arseniciselenatis*, *Clostridiaceae bacterium*, *Desulfovibrionaceae*, *Dethiosulfovibrio acidaminovorans*, *Epsilonproteobacteria*, *Halomonas*, *Marinobacter*, *Pseudomonadales*, *Psychroflexus torquis*, *Rhodobacteria*, *Thiomicrospira crunogena* y *Xanthomonadales*.

iv. Fitobentos

En Barros Negros, en el estudio de Rockwood Lithium (2015), se muestra la campaña de primavera 2013 donde se detectó que la riqueza de fitobentos fue de 3 *taxa*. El taxón dominante correspondió a la diatomea *Navicula* sp.

En abril de 2014, se observó una riqueza de 7 *taxa*, dominando el ensamble la cianófita *Oscillatoria*. En julio de 2014, se observó una riqueza de 6 *taxa*, dominando el ensamble la cianófita *Oscillatoria* (Rockwood Lithium 2015). En la laguna Chaxa, en la campaña abril de 2014, se observó una riqueza de 19 *taxa*, dominando el ensamble la cianófita *Oscillatoria*. En julio 2014, se observó una riqueza de 9 *taxa*, dominando la cianófita *Oscillatoria* (Rockwood Lithium 2015). En enero 2015, se observó una riqueza de 17 *taxa* en la laguna Chaxa, dominando el ensamble la diatomea *Planothidium*.

v. Fitoplancton

En Barros Negros, en el estudio de Rockwood Lithium 2015, se muestra la campaña de septiembre 2013 donde se detectó que la riqueza de fitoplancton fue de 8 *taxa*. El taxón dominante correspondió a la diatomea *Nitzschia*.

En abril de 2014, la riqueza detectada fue de 4 *taxa*, y el taxón dominante correspondió a la cianofícea *Oscillatoria*. En julio de 2014, se observó una riqueza de 9 *taxa*, dominando el ensamble la diatomea *Nitzschia* (Rockwood Lithium 2015).

En tanto en la laguna Chaxa, en la campaña de abril 2014 se detectó que la riqueza de fitoplancton fue de 6 *taxa*. El taxón dominante correspondió a la cianófita *Oscillatoria*. En julio 2014, se observó una riqueza de 4 *taxa*, dominando la diatomea *Nitzschia* (Rockwood Lithium 2015).

En enero 2015, se observó una riqueza de 14 *taxa* en la laguna Chaxa, dominando el ensamble la diatomea *Planothidium*.

vi. Zooplancton

La información disponible para este subsistema del subcomponente zooplancton está limitada a una estación de monitoreo en Laguna Chaxa y otra en Laguna Barros Negros.

En laguna Chaxa la composición zooplanctónica estuvo representada por copépodos de los órdenes Calanoida, Ciclopoida y Harpacticoidea, incluyendo a los calanoideos *Boeckella* sp. y los harpacticoideos de la familia Canthocamptidae incluyendo a *Attheyella* sp. Otros grupos importantes fueron *Artemia franciscana*, gusanos Nematoda y larvas de insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae y Ephydriidae.

Respecto a la dominancia en laguna Chaxa, el copépodo *Attheyella* sp. fue el más importante en las campañas de abril y julio de 2014, seguido por *Boeckella* sp. y *A. franciscana*. Para la campaña de enero 2015, los gusanos nematodos fueron los dominantes seguidos por *A. franciscana*.

En laguna Barros Negros la composición zooplanctónica estuvo representada por copépodos de los órdenes Calanoida y Harpacticoidea, incluyendo a los calanoideos *Boeckella* sp. y los harpacticoideos *Attheyella* sp. Otra especie importante fue el branquiópodo *Artemia franciscana*. La dominancia en este caso estuvo dada por *A. franciscana* en septiembre de 2013 y por *Attheyella* sp. en las campañas de abril y junio de 2014.

vii. Zoobentos

Las lagunas Chaxa y Barros Negros muestran solo individuos de la familia Ephydriidae en todas sus campañas (primavera 2013, otoño e invierno 2014).

viii. Plantas vasculares acuáticas

En las campañas de 2014, no se registraron plantas acuáticas en las lagunas Barros Negros y Chaxa.

6.1.2.5 Subsistema Laguna Tebenquiche

i. Funcionamiento hidrogeológico

La laguna Tebenquiche es uno de los cuerpos de agua más grandes del Salar de Atacama y está situado en la parte norte del salar, a la altura del pueblo de Toconao (Demergasso et al., 2008; Dorador et al., 2009; Zúñiga et al., 1991). En la se muestra la ubicación de la laguna Tebenquiche.

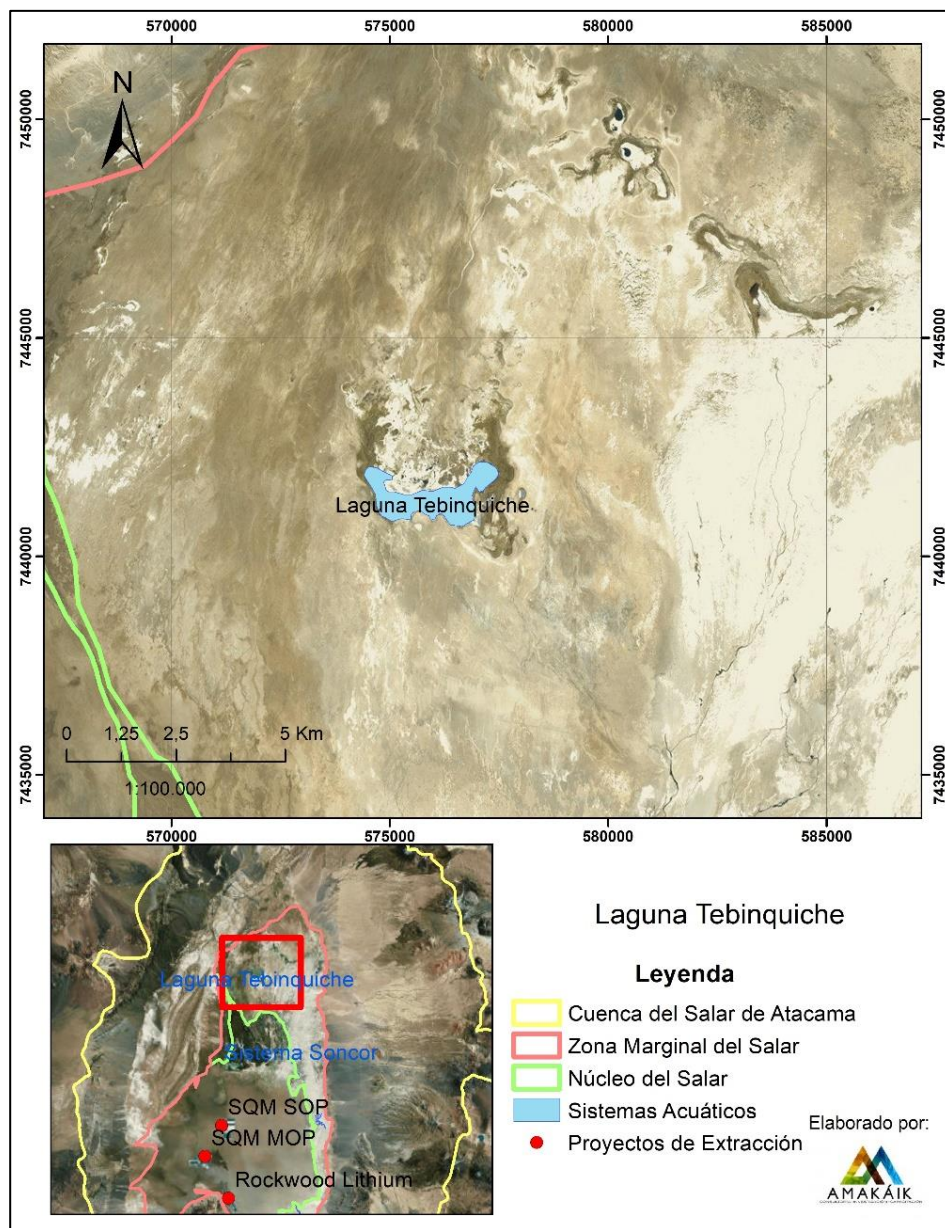


Figura 6-19: Ubicación de laguna Tebenquiche en el Salar de Atacama

ii. Calidad de agua

Esta Laguna presenta un pH moderadamente alcalino que oscilan entre los 7,4 y 8,6. Presenta variaciones estacionales respecto a la salinidad, por lo que se caracteriza de salina a hipersalina (38-150 g/L) (Farías et al.,

2014). La conductividad promedio es de 138 mS/cm. Las aguas presentan concentraciones considerables de cloruros, sodio y sulfatos y en menores proporciones potasio, magnesio y calcio.

iii. Tapetes microbianos

Laguna Tebenquiche mostró una riqueza total de 6 *taxa* en la campaña de 2007 (Demergasso et al. 2007), 3 *taxa* en la campaña 2009 (Dorador et al., 2009), 12 *taxa* en la campaña 2014 (Farías et al., 2014) y 66 *taxa* en la campaña de 2016 (Fernandez et al., 2016), siendo este subsistema el que mostró la mayor diversidad microbiana de los distintos subsistemas analizados. Si se consideran todos los estudios como un conjunto, se observan 57 *taxa* microbianos distintos. El detalle de los *taxa* encontrados en las distintas campañas es el siguiente: la campaña del 2007 presentó *Cellulophaga marinoflava*, *Psychroflexus torquis*, *Roseobacter clone 253* y *Salinibacter ruber*; en la campaña del 2009 se observó *Muricauda aquimarina*, *Psychroserpens mesophilus* y *Tenacibaculum discolor*; en la campaña del 2014 se encontró *Acidobacteria*, *Bacteroidetes*, *Caldithrix*, *Chloroflexi*, *Chlamydiae*, *Firmicutes*, *Lentisphaerae*, *Planctomycetes*, *Proteobacteria*, *Spirochaetes*, *Thermi* y *Verrucomicrobia*. En el caso de la campaña de 2016 fue posible observar abundancia de los *taxa* microbianos, al estar en una unidad de medida (OTU) que permite este análisis. En base a esto, la abundancia de los *taxa* más abundantes para la campaña 2016 es el siguiente: *Halonotius* (62,7 OTU), *Acetothermia KB1* (25 OTU), *Thermoplasmata DHVEG1* (23,1 OTU), *Chlorothrixaceae* (17,1 OTU), *Crenarchaeota MBGB* (16,4 OTU) y *Halanaerobium* (16,2 OTU).

70

iv. Fitobentos

No se registró información referente al fitobentos del sector.

v. Fitoplancton

No se registró información referente al fitoplancton del sector.

vi. Zooplancton

El único registro encontrado de zooplancton para la laguna Tebenquiche, corresponde a lo informado por De los Rios-Escalante & Salgado (2012) quienes publicaron la ocurrencia de *Artemia franciscana* durante un muestreo realizado en 1996, en la laguna Tebenquiche y en la laguna Cejar del Salar de Atacama.

vii. Zoobentos

No presentó registro para zoobentos.

viii. Plantas vasculares acuáticas

No se registró información referente a las plantas acuáticas del sector.

En el próximo acápite es posible observar las tendencias, similitudes y diferencias entre subsistemas, de acuerdo a los resultados obtenidos de la revisión de los proyectos ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

6.1.3 Comparación espacial entre los subsistemas acuáticos estudiados

71

Como se señaló en el acápite 5.1 de Metodología, la cantidad y calidad de los datos de los subsistemas acuáticos permitió realizar comparación a escala espacial debido a que los datos presentaron frecuencias regulares en cada punto desde la perspectiva temporal. En los acápites se abordan cada uno de los subsistemas acuáticos: tapetes microbianos, fitobentos, fitoplancton, zooplancton, zoobentos y plantas vasculares. De esta manera se pueden observar las tendencias espaciales y temporales entre los subsistemas acuáticos de la Cuenca del Salar de Atacama.

6.1.3.1 Tapetes microbianos

El área de la cuenca del Salar de Atacama mostró la presencia de tapetes microbianos en 20 sitios de muestreo asociados a sistemas hidrológicos acotados, en base a distintos artículos científicos revisados, siendo el detalle de la cuenca el siguiente; Subsistema La Punta-La Brava; 5 sitios; Subsistema Soncor: 3 sitios y Laguna Tebenquiche: 12 sitios.

Cuando se analiza la riqueza media para los distintos subsistemas hidrológicos, se observa que en el Subsistema La Punta-La Brava correspondió a 10,8 taxa/sitio, seguido por Laguna Tebenquiche con 7,3 taxa/sitio y finalmente el Subsistema Soncor con 4,0 taxa/sitio. Cabe mencionar que no se evidenciaron diferencias significativas entre los tres subsistemas ($p > 0.05$). En el Anexo D se pueden ver en detalle la lista de los taxa encontrados en los tapetes microbianos asociados a distintos subsistemas hidrológicos del Salar de Atacama.

El análisis de similitud/disimilitud puede observarse a través de un análisis de escalamiento multidimensional no métrico NMDS (Figura 6-20), donde se visualiza la ordenación de los sitios de análisis en relación con la presencia y ausencia de los distintos taxa de los tapetes microbianos. Se puede apreciar que el Subsistema Soncor y Subsistema La Punta-La Brava no se superponen, caso opuesto a lo que ocurre con Laguna Tebenquiche y Subsistema Soncor donde hay superposición parcial o con lo que ocurre entre Laguna Tebenquiche y Subsistema La Punta-La Brava, donde hay superposición completa, evidenciando la alta similitud de taxa entre ambos subsistemas.

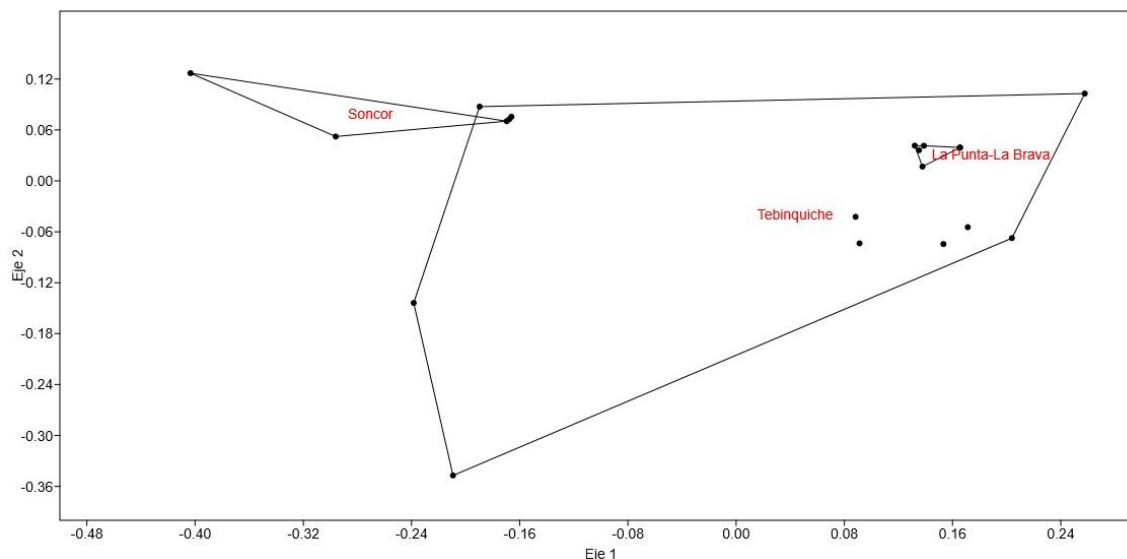


Figura 6-20: Análisis de ordenación a través de escalamiento multidimensional no métrico NMDS, utilizando el índice de Jaccard para evaluar la presencia/ausencia de *taxa* en tapetes microbianos de los subsistemas estudiados en Salar de Atacama

La Figura 6-20 muestra la disimilitud entre el Subsistema Soncor y el Subsistema La Punta-La Brava y una similitud parcial entre el Subsistema Soncor y Laguna Tebenquiche, por lo tanto, se dará énfasis en los principales *taxa* compartidos y no compartidos entre los distintos subsistemas, con el objetivo de entender cómo se comportan estos subsistemas.

Cuando se analizan los *taxa* compartidos entre Laguna Tebenquiche y Subsistema La Punta-La Brava, encontramos los siguientes microorganismos: *Acetothermia*, bacterias con características termófilas y quimiolitotróficas (Badhai, Ghosh, & Das, 2015); *Crenarqueota*, asociadas a altas temperaturas y sulfuros como fuente de alimento (Madigan & Martinko, 2006); *Planctomycetes*, de características heterotróficas (Neef, Amann, Schlesner, & Schleifer, 1998); *Spirochaetes* de hábitos quimioheterótrofos (Margulis, B, Solé, & Guerrero, 1993) y; *Thermi*, de características extremófilas (Griffiths & Gupta, 2007). Por lo tanto, se puede ver un amplio rango de microorganismos con características comunes desde termófilas y otras dispares como autótrofas y heterótrofas, dando a entender que una característica común entre ambos subsistemas puede ser la temperatura del medio.

En el caso del Subsistema Soncor y Laguna Tebenquiche se encuentra un taxon particular en común, *Psychroflexus torquis*, el cual tiene la característica de ser criófilo (Bowman et al., 1998), es decir, está adecuado a condiciones de temperatura bajas, contrario a los termófilos de los subsistemas anteriores, lo que podría estar relacionado con la disimilitud entre el Subsistema Soncor y el Subsistema La Punta-La Brava, infiriéndose que la temperatura del Subsistema Soncor es más baja que la del Subsistema La Punta-La Brava, lo que podría implicar una estructura microbiana particular, sin embargo, hay que considerar otros factores que podrían estar afectando, como la temperatura el día de muestreo, la época del año, etc.

Algunos de los *taxa* sólo se encuentran en algunos de los subsistemas previamente mencionados, así es como se identificó lo siguiente: para Laguna Tebenquiche encontramos los *taxa* *Halanaerobacter*, *Halanaerobiaceae*, *Halanaerobium*, *Halobacteria*, *Halobacteriaceae* y *Halobacteriales*, de características halófilas y anaeróbicas (Grant & Larsen, 1989; Singh, 2012); *Methanobacteria*, *Methanobacteriales* y *Methanomassiliicoccaceae* con la capacidad de producir metano (Chen, Cheng, & Creamer, 2008) y; *Thermoplasmata* de ambientes ácidos y termófilos (Ruepp et al., 2000).

Por otra parte, el Subsistema Soncor presenta; *Desulfovibrionaceae* y *Dethiosulfovibrio acidaminovorans*, sulfato reductores anaeróbicos de ambientes mesófilos a ligeramente criófilos (Kuever, 2014); *Halomonas*, de características halófilas (Vreeland, Litchfield, E.L. & Elliot, 1980); *Marinobacter*, asociado principalmente a ambientes marinos (Duran, 2010); *Thiomicrospira crunogena*, quimiolitotrófica sulfuro oxidante (Jannash et al., 1985) y; *Xanthomonadales* y *Pseudomonadales*, las que se caracterizan por ser aeróbicas y principalmente patógenos (Garrrity, Bell, & Lilburn, 2005; Saddler & Bradbury, 2005).

Analizando los datos previamente mostrados, se observa que Laguna Tebenquiche corresponde a un subsistema con organismos metanogénicos, característica que no fue registrada en los otros subsistemas y, concordante con lo visto anteriormente, los *taxa* son termófilos, contrario a lo que sucede en el Subsistema Soncor donde se observaron *taxa* criófilos. Con esta nueva información, se puede deducir que en tal subsistema existen procesos de óxido-reducción de sulfuros, siendo el único de los subsistemas que presenta esta característica.

El subsistema Soncor se diferencia de los otros subsistemas, principalmente por la característica criófila y relacionada a la óxido-reducción de sulfuros de sus componentes microbianos, que no se observan en el subsistema La Punta-La Brava o en Laguna Tebenquiche, las cuales presentan microorganismos termófilos, considerando además la cualidad metanogénica del tapete microbiano identificado en Laguna Tebenquiche que no se observa en los otros subsistemas. Esto lleva a pensar la cualidad única de cada subsistema en base a la composición de sus tapetes microbianos y, por lo tanto, entender que se hace necesario manejar cada subsistema de manera independiente.

Es necesario recalcar que los tapetes microbianos de los subsistemas vistos en este trabajo (Laguna Tebenquiche, Subsistema Soncor y Subsistema La Punta-La Brava) son una parte importante de lo que sucede en el Salar de Atacama, pero no son la totalidad de los subsistemas acuáticos que se encuentran en el salar.

El plan de manejo biótico desarrollado para Rockwood Lithium (2015) bajo el EIA “Modificaciones y mejoramiento del sistema de pozas de evaporación solar en el Salar de Atacama” indica que en los otros subsistemas acuáticos del Salar de Atacama presentan tapetes microbianos además de los previamente descritos, estos son el Subsistema Peine compuesto por las lagunas Salada, Interna y Saladita; y el Subsistema Aguas de Quelana, en todos y cada uno de las lagunas o sitios de muestreos se encontraron tapetes microbianos, sin embargo, se desconoce la composición de dichos tapetes.

Debido a la falta de información en la Cuenca del Salar de Atacama, de carácter cuantitativo, es importante realizar estudios de tapetes microbianos en todos los subsistemas del Salar de Atacama, para poder entender cómo funciona cada uno, su interrelación con los otros subsistemas y con ello, desarrollar prácticas de conservación más efectivas para todo el Salar de Atacama. La generación de esta información permitía comprender la dinámica

ecosistémica de la cuenca en su completitud y ultimadamente establecer las medidas de manejo y conservación de sus subsistemas, ya que será posible entender la manera en que los tapetes microbiaos interactúan con los otros componentes acuáticos, así como con los otros subsistemas.

6.1.3.2 Fitobentos

74

Entre las 124 estaciones relevadas que poseen registro respecto a este grupo biológico, fueron encontrados 151 *taxa* de fitobentos. El sector que presentó el mayor número de *taxa* correspondió a La Punta-La Brava con 112 *taxa*. Mientras que, el Subsistema Peine presentó la menor riqueza total con 40 *taxa* de microalgas bentónicas (Tabla 6-7).

Cabe destacar que, no fueron evidenciadas diferencias estadísticas significativas entre los diferentes subsistemas del Salar de Atacama respecto a riqueza de microalgas bentónicas ($p > 0,05$). Lo que hace que estos subsistemas lagunares hipersalinos sean altamente homogéneos en términos de la composición de las microalgas bentónicas (ver Tabla 6-7). En el Anexo B se pueden ver en detalle la lista de especies de fitobentos que ocurren en distintos subsistemas hidrológicos del Salar de Atacama.

Tabla 6-7: Riqueza total media y riqueza total de microalgas bentónicas para los sectores de estudio

Sector	Riqueza total media (n° <i>taxa</i> /estación)	Riqueza total (n° <i>taxa</i>)
Aguas de Quelana	13,4	53
La Punta-La Brava	11,5	112
Peine	11,5	40
Vegas de Tilopozo	10,6	73

Fuente: Elaboración Propia

Respecto de las densidades promedio, se observó que los valores máximos fueron registrados en las lagunas La Punta y La Brava, en tanto, los valores mínimos se encontraron en el sector Aguas de Quelana (Tabla 6-8 y Figura 6-21). Además, se puede observar que la comunidad de microalgas bentónicas en el sistema de La Punta y La Brava y las Vegas de Tilopozo, presentan una mayor variabilidad en cuanto a la densidad de este grupo. Esto podría estar relacionado con una mayor disponibilidad de microhábitats para estas microalgas en dichos sistemas. Por otro lado, las variaciones por sistema entre el mínimo y máximo valor de densidad muestran diferencias en órdenes de magnitud que hace que el mínimo valor parezca constante entre los distintos sistemas.

La mayor densidad presente en La Punta y La Brava puede significar mayor disponibilidad de alimento tanto para los invertebrados bentónicos y plantónicos como para las aves.

Tabla 6-8: Densidades mínimas, medias y máximas de microalgas bentónicas para los sectores de estudio (cel/mm²)

Sector	Densidad mínima	Densidad máxima	Densidad media
Aguas de Quelana	69	18.201	4.844
La Punta-La Brava	128	1.151.615	97.117
Peine	6.132	74.400	14.526
Vegas de Tilopozo	0	589.372	77.096

Fuente: Elaboración Propia

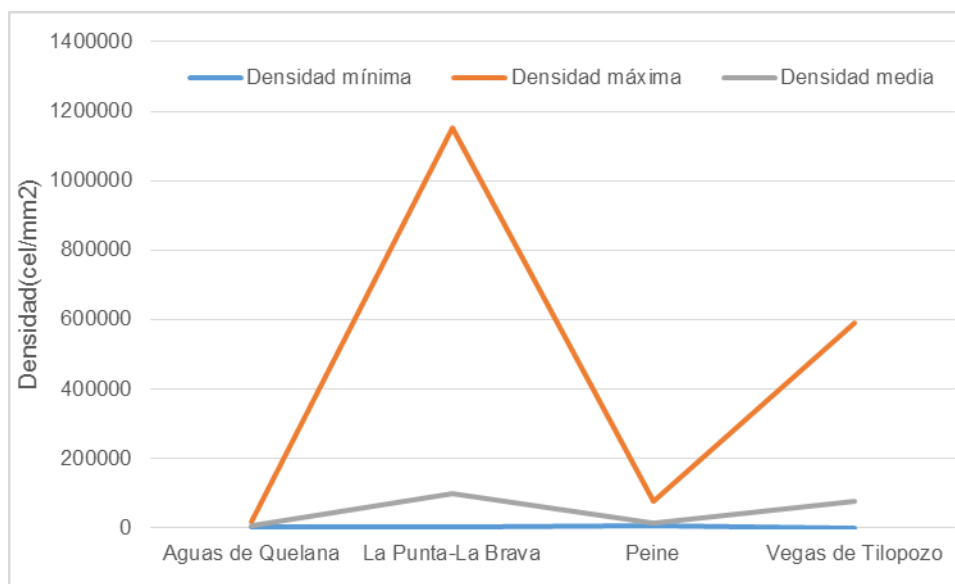


Figura 6-21: Densidades mínimas, medias y máximas de fitobentos según subsistema analizado

En relación con si existen diferencias para las densidades presentadas por las microalgas bentónicas entre subsistemas en el salar, se detectó que Aguas de Quelana presenta diferencias significativas respecto a los restantes subsistemas lagunares, y las lagunas La Punta y La Brava se observan diferentes del sector Peine (Salada, Saladita e Interna). En tanto, el sector Vegas de Tilopozo no presentó diferencias significativas respecto de las densidades observadas en La Punta - La Brava y Peine (Tabla 6-9).

Tabla 6-9: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a densidad de microalgas bentónicas, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.

Sector	A. Quelana	Punta-Brava	V. Tilopozo	Peine
A. Quelana		0,0005327	0,006079	0,009205
Punta-Brava	0,0005327		0,5069	0,04744
V. Tilopozo	0,006079	0,5069		0,2934
Peine	0,009205	0,04744	0,2934	

Fuente: Elaboración Propia. Celda con color indica diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

El análisis de similitud evidenció diferencias estadísticamente significativas en la composición y abundancia de especies de fitobentos entre los subsistemas lagunares ($p < 0,05$). Sólo Vegas de Tilopozo con el subsistema La Punta-La Brava no evidenciaron diferencias significativas en relación con la composición y abundancia dado que estos subsistemas estuvieron dominados por las especies del género halófilo *Denticula*. Los restantes subsistemas presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) (Tabla 6-10). De igual forma, al revisar los *taxa* de fitobentos más abundantes en los subsistemas del Salar de Atacama analizados, se aprecia que en general que el taxón *Denticula* spp. fue el mejor representado con un 33,8% del total, seguido de *Denticula kuetzingii* con el 31,4% del total. Se observó que la mayor predominancia de estas especies ocurrieron en la laguna La Punta – La Brava, y en vegas de Tilopozo (Tabla 6-11 y Figura 6-22), sistemas que cuentan con comunidades similares en cuanto a composición y densidad.

Tabla 6-10: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a composición y abundancias de especies de microalgas bentónicas, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.

Subsistema	A. Quelana	Punta-Brava	V. Tilopozo	Peine
A. Quelana		0,0001	0,0001	0,0001
Punta-Brava	0,0001		0,1749	0,0001
V. Tilopozo	0,0001	0,1749		0,0001
Peine	0,0001	0,0001	0,0001	

Fuente: Elaboración Propia. Celda con color indica diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

Tabla 6-11: Abundancia relativa (%) de microalgas bentónicas mejor representados según subsistema de estudio en el Salar de Atacama

Taxa	A. Quelana	Peine	La Punta- La Brava	V. Tilopozo	Total
<i>Brachysira aponina</i>	1,1	0	1,5	1,6	1,5
<i>Brachysira spp.</i>	0	0	0,4	2,7	0,9
<i>Cymbellonitzschia spp</i>	0	0	1,5	0	1,1
<i>Denticula kuetzingii</i>	0,2	4,1	41,1	2,2	31,4
<i>Denticula spp.</i>	0	0	28,2	56,4	33,8

<i>Halamphora spp.</i>	0	0	0,7	8,6	2,4
<i>Haloroundia speciosa</i>	0	3,2	3,6	2,9	3,4
<i>Navicula spp</i>	0,4	0	4,1	3,7	3,9
<i>Nitzschia spp</i>	2,7	0	1,7	4,8	2,4
<i>Pennales indet.</i>	0	0	1,7	3,3	2
<i>Planothidium spp</i>	0	0	1,6	0	1,2
Otras	95,6	92,7	14	13,7	15,8

Fuente: Elaboración Propia

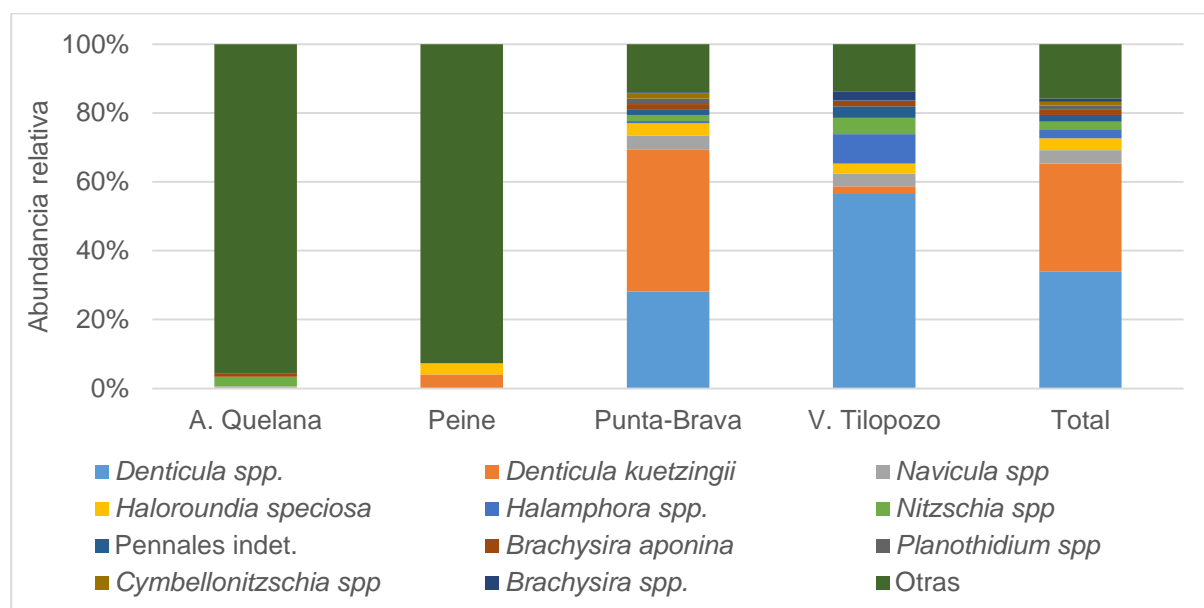


Figura 6-22: Abundancia relativa de las especies más representativas de microalgas bentónicas según subsistema de estudio

En general, las clases presentes de microalgas fueron Bacillariophyceae y Cyanophyceae. Los géneros más importantes, en función del ciclo anual, fueron los siguientes: *Achnanthes*, *Amphora*, *Entomoneis*, *Denticula*, *Fragilaria*, *Mastogloia*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Pseudostaurosira* y *Surirella*. Estos géneros se encuentran en las distintas lagunas y periodos. Además, se observó una fuerte predominancia de cianófitas en los subsistemas, tal es el caso de *Chroococcus* y *Oscillatoria*, además de las clorófitas *Dunaliella*, *Sphaerocystis* y *Chlamydomonas*.

Este grupo de organismos realiza una parte importante de la producción primaria de los ecosistemas de lagunas hipersalinas. Convirtiéndose en alimento para organismos herbívoros tales como invertebrados acuáticos tanto planctónicos como bentónico y las aves que se alimentan en las lagunas.

Dentro del fitobentos, el ensamble de microalgas muestra una estructura y composición variable temporal y espacialmente. Como se señaló anteriormente, tales variaciones estarían moduladas principalmente por la alta

heterogeneidad resultante de las tasas diferenciales de evaporación entre verano e invierno, lo que resulta en cambios en salinidad, contenido de oxígeno, temperatura (entre otros) en el subsistema acuático, las cuales son variables relevantes para el desarrollo de este grupo (Díaz-Quiroz & Rivera-Rondon, 2004).

Cabe destacar que una alta proporción de la dieta de *Phoenicopterus chilensis* (Flamenco chileno), presenta cianobacterias (cianofitas), seguidas por macroinvertebrados y diatomeas. Por el contrario, en *Phoenicoparrus andinus* (Flamenco andino), la contribución promedio de microalgas fue mayor que de macroinvertebrados y cianobacterias como principales componentes de la dieta (Polla et al., en prensa).

78

6.1.3.3 Fitoplancton

Entre las 340 estaciones evaluadas respecto a este grupo biológico, fueron detectadas 167 *taxa* de fitoplancton. El sector que presentó el mayor número de *taxa* de fitoplancton correspondió a La Punta-La Brava (117 *taxa*); mientras que, el Subsistema Peine presentó la menor riqueza total con 29 *taxa* de microalgas planctónicas (Tabla 6-12). En el Anexo C se pueden ver en detalle la lista de especies de fitoplancton que ocurren en distintos subsistemas hidrológicos del Salar de Atacama.

Tabla 6-12: Riqueza total media y riqueza total de microalgas plantónicas para los sectores de estudio

Sector	Riqueza total media (n° <i>taxa</i> /estación)	Riqueza total (n° <i>taxa</i>)
A. Quelana	12,1	45
Peine	0,8	29
Punta-Brava	12,6	117
Soncor	2,2	55
V. Tilopozo	13,2	88

Fuente: Elaboración Propia

Respecto de las densidades promedio, se observó que los valores máximos fueron registrados en las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), en tanto, los valores mínimos se encontraron en el sector Vega de Tilopozo (Tabla 6-13 y Figura 6-23). Se puede observar que, en el sistema de Peine, la comunidad de microalgas planctónicas presenta una mayor variabilidad en la densidad de este grupo. Diferente al de las algas fitobentónicas que presentaron mayor variabilidad y mayor abundancia en los sistemas La Punta y La Brava. Es probable que esté relacionado con la calidad de la columna de agua y diferencias de ésta dentro de los sistemas, lo que da una mayor variabilidad de hábitat para los organismos.

Al igual que en el caso del fitobentos, se puede hipotetizar que la mayor densidad puede significar mayor disponibilidad de alimento tanto para los invertebrados bentónicos y plantónicos como para las aves.

Tabla 6-13: Densidades mínimas, medias y máximas de microalgas plantónicas para los sectores de estudio (cel/L)

Sector	Densidad mínima	Densidad máxima	Densidad media
A. Quelana	2.687	190.845	46.797
Peine	0	10.800.000	437.261
Punta-Brava	0	4.815.000	172.276
Soncor	0	589.372	18.282
V. Tilopozo	759	58.920	10.569

Fuente: Elaboración Propia

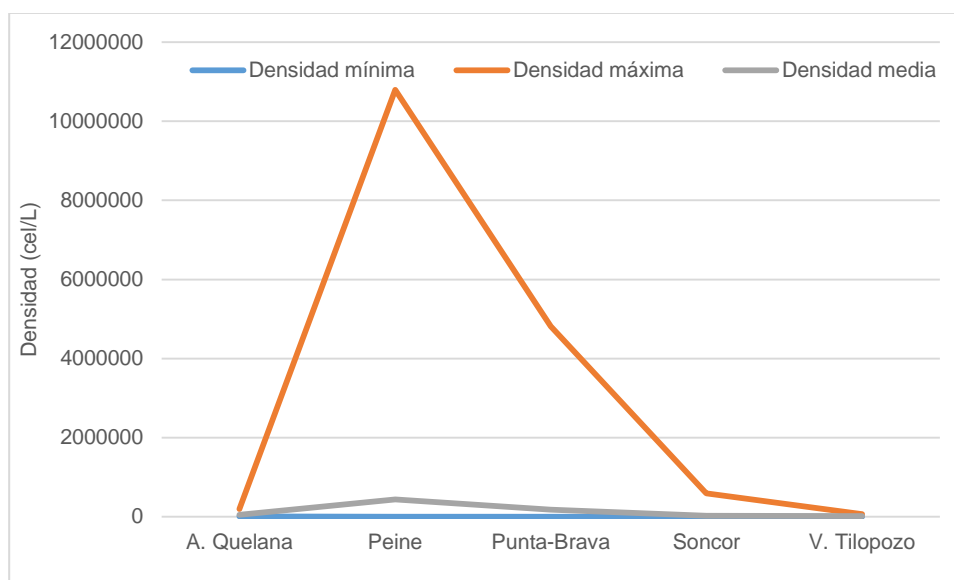


Figura 6-23: Densidades mínimas, medias y máximas de fitoplancton según subsistema analizado

En relación con si existen diferencias para las densidades presentadas por las microalgas planctónicas entre sectores en el salar, se detectó que el sector Soncor presenta diferencias significativas respecto a los restantes subsistemas lagunares, y las lagunas La Punta y La Brava se observan diferentes del sector Peine (Salada, Saladita e Interna). Vegas de Tilopozo no presentó diferencias significativas respecto de las densidades observadas Soncor y Peine (Tabla 6-14).

El análisis de similitud evidenció diferencias estadísticas significativas en la composición de especies de fitoplancton respecto al Subsistema de Estudio ($p < 0,05$). Esto se demuestra que los subsistemas lagunares son distintos entre sí respecto de las microalgas planctónicas (Tabla 6-15).

Lo anterior puede ser mejor visualizado a través de un análisis de ordenación de escalamiento multidimensional no métrico (Figura 6-24), donde se aprecia una tendencia a agruparse los subsistemas de Vegas de Tilopozo, La

Punta-La Brava y Aguas de Quelana, y otro grupo donde Soncor se tiende a acercar a Peine, y éste último ser estadísticamente distinto a los tres primeros subsistemas mencionados.

Tabla 6-14: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a densidad de microalgas plantónicas, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.

Sector	V. Tilopozo	A. Quelana	Soncor	Punta-Brava	Peine
V. Tilopozo		0,08605	<0,001	0,9077	<0,001
A. Quelana	0,08605		<0,001	0,1917	<0,001
Soncor	<0,001	<0,001		<0,001	0,2148
Punta-Brava	0,9077	0,1917	<0,001		<0,001
Peine	<0,001	<0,001	0,2148	<0,001	

Fuente: Elaboración Propia. Celda con color indica diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

Tabla 6-15: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a composición de taxa de microalgas plantónicas, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.

Sector	V. Tilopozo	A. Quelana	Soncor	Punta-Brava	Peine
V. Tilopozo		0,0125	0,0001	0,8986	0,0001
A. Quelana	0,0125		0,0001	0,1669	0,0002
Soncor	0,0001	0,0001		0,0001	0,116
Punta-Brava	0,8986	0,1669	0,0001		0,0001
Peine	0,0001	0,0002	0,116	0,0001	

Fuente: Elaboración Propia. Celda con color indica diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

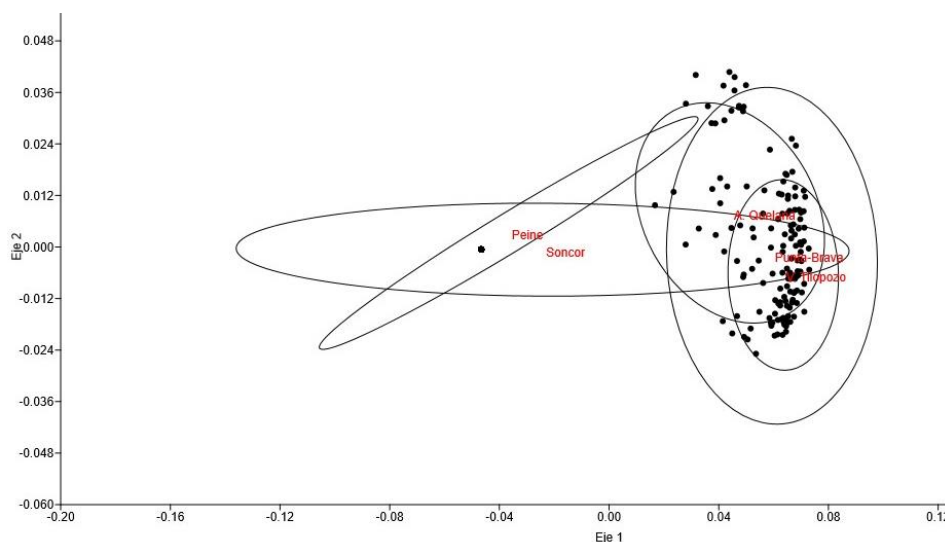


Figura 6-24: Análisis de ordenación con escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), para el fitoplancton de los subsistemas lagunares del Salar de Atacama

Respecto a las especies de fitoplancton más abundantes en los subsistemas del Salar de Atacama analizados, se aprecia que en general *Fragilaria brevistriata* fue la especie mejor representada (25,5%), seguido de *Achnanthes minutissima* (10,1%) (Tabla 6-16 y Figura 6-25).

Tabla 6-16: Abundancia relativa (%) de las especies de microalgas plantónicas mejor representadas según subsistema de estudio en el Salar de Atacama

Especies/Subsistemas	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V. Tilopozo	General
<i>Achnanthes minutissima</i>	0	13,3	0	0	0	10,1
<i>Amphora atacamae</i>	0	2,2	2,9	0	0	2,2
<i>Craticula cuspidata</i>	0	10,2	3,9	0	0	8,5
<i>Denticula kuetzingii</i>	0,7	7,5	17,2	2,3	21,7	9,3
<i>Denticula spp.</i>	0	0	0,5	56,6	20,3	2,1
<i>Fragilaria brevistriata</i>	3,7	26,5	27,3	0	0	25,5
<i>Haloroundia speciosa</i>	0	2,6	1,8	3,1	0,6	2,4
<i>Mastogloia Atacamae</i>	0,2	8,4	2,9	0,1	0	7
<i>Mastogloia brevistriata</i>	0	3,6	0	0	0	2,8
<i>Mastogloia elliptica</i>	0	2,7	0	0	0	2,1
<i>Navicula cryptotenella</i>	1,9	2,2	0,7	0,1	3,7	1,8
<i>Nitzschia epithemoides</i>	0	4,2	0,4	0	0	3,3
<i>Planothidium chilense</i>	0,4	2,2	2,9	0	0	2,3
<i>Surirella sella</i>	0,1	3,9	0	0	0,7	3
Otras	93	10,5	39,5	37,9	52,8	17,8

Fuente: Elaboración Propia

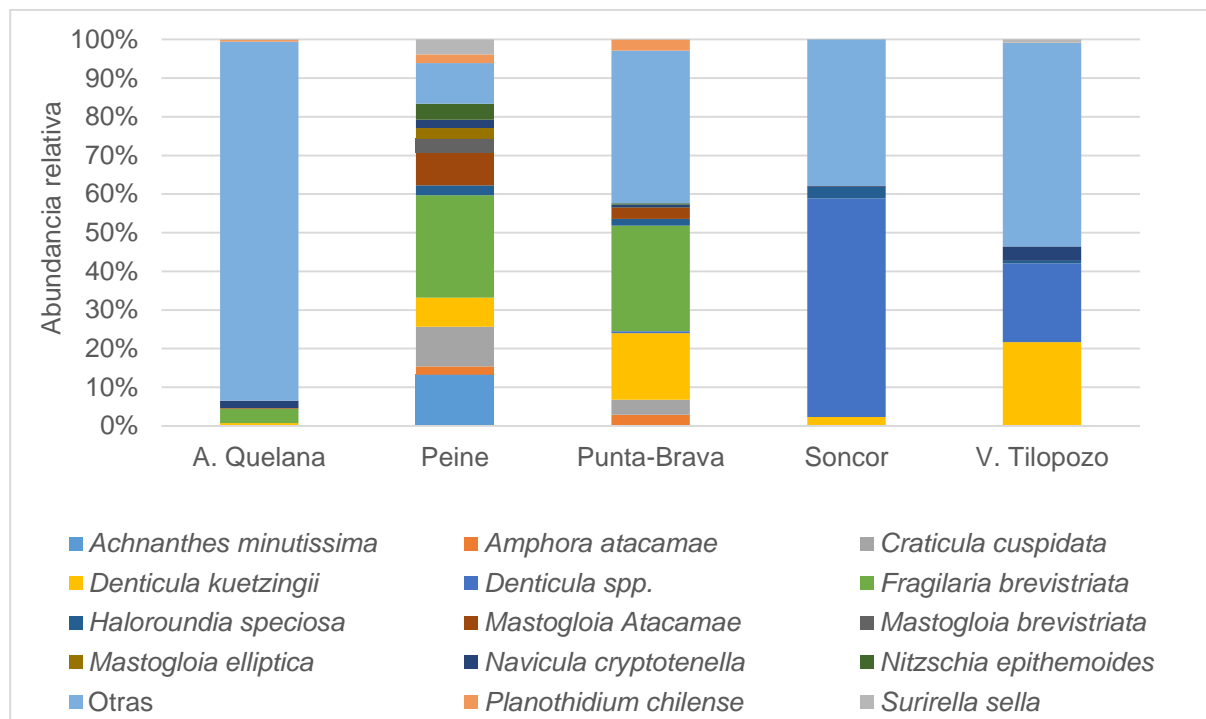


Figura 6-25: Abundancia relativa de las especies más representativas de microalgas planctónicas según subsistema de estudio

La clase dominante en el fitoplancton es Bacillariophyceae. Los géneros que destacan en las distintas lagunas son *Denticula* y *Fragilaria*. Además, se observó una fuerte predominancia de cianófitas en los subsistemas tal es el caso de *Chroococcus* y *Oscillatoria*, además de las clorófitas *Dunaliella*, *Sphaerocystis* y *Chlamydomonas*.

Este grupo de organismos realizan una parte importante de la producción primaria de los ecosistemas de lagunas hipersalinas. Convirtiéndose en alimento para organismos herbívoros tales como invertebrados acuáticos tanto planctónicos como bentónico y las aves que se alimentan en las lagunas.

Dentro del fitoplancton, el ensamble de microalgas muestra una estructura y composición variable temporal y espacialmente. Como se señaló anteriormente, tales variaciones estarían moduladas principalmente por la alta heterogeneidad resultante de las tasas diferenciales de evaporación entre verano e invierno, lo que resulta en cambios en salinidad, contenido de oxígeno, temperatura (entre otros) en el subsistema acuático, las cuales son variables relevantes para el desarrollo de este grupo (Díaz-Quiroz & Rivera-Rondon, 2004).

Al igual que el fitobentos, y como ya se ha mencionado para este componente, estos organismos son una alta proporción de la dieta de *Phoenicopterus chilensis* (Flamenco chileno), presenta cianobacterias (cianofitas), seguidas por macroinvertebrados y diatomeas. Por el contrario, en *Phoenicoparrus andinus* (Flamenco andino), la contribución promedio de microalgas fue mayor que de macroinvertebrados y cianobacterias como principales componentes de la dieta (Polla et al., en prensa).

6.1.3.4 Zooplancton

Entre las 250 estaciones encontradas que poseen registro respecto a este componente biológico, fueron determinados 45 *taxa* de zooplancton. El sector que presentó el mayor número de *taxa* de zooplancton correspondió a Peine (28 *taxa*); mientras que el Subsistema Soncor presentó la menor riqueza total con 7 *taxa* de zooplancton (Tabla 6-17). Fue evidenciada una diferencia estadística significativa entre los diferentes subsistemas del Salar de Atacama respecto a riqueza de zooplancton ($p < 0.05$) (Tabla 6-18). En el Anexo B se pueden ver en detalle la lista de los *taxa* de zooplancton que ocurren en distintos subsistemas hidrológicos del Salar de Atacama.

Tabla 6-17: Riqueza total y total media de zooplancton en los sectores de estudio

Sector	Riqueza total (n° <i>taxa</i>)	Riqueza total media (n° <i>taxa</i> / estación)
A. Quelana	20	2,6
Peine	28	2,5
Punta-Brava	24	3,1
Soncor	7	2,8
V. Tilopozo	22	4,1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6-18: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a riqueza de zooplancton, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.

Sector	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V. Tilopozo
A. Quelana		0,3571	0,02783	0,4098	0,001584
Peine	0,3571		0,0002866	0,5386	4,51E-07
Punta-Brava	0,02783	0,0002866		0,5015	0,005156
Soncor	0,4098	0,5386	0,5015		0,06642
V. Tilopozo	0,001584	4,51E-07	0,005156	0,06642	

Fuente: Elaboración Propia. Celda con color indica diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

Respecto de las densidades promedio, se observó que los valores máximos fueron registrados en las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), en tanto, los valores mínimos se encontraron en el sector Soncor (Figura 6-26 y Tabla 6-19). Semejante a lo observado con las comunidades de microalgas tanto bentónicas como plantónicas, la mayor densidad fue observada en los sistemas Punta-Brava y Peine respectivamente. Esto puede estar relacionado con la mayor disponibilidad de alimento. Por otro lado, estos mismos sistemas son los que registran mayor variabilidad de la densidad lo que se puede explicar por una mayor diversidad de microhábitats en dichos sistemas.

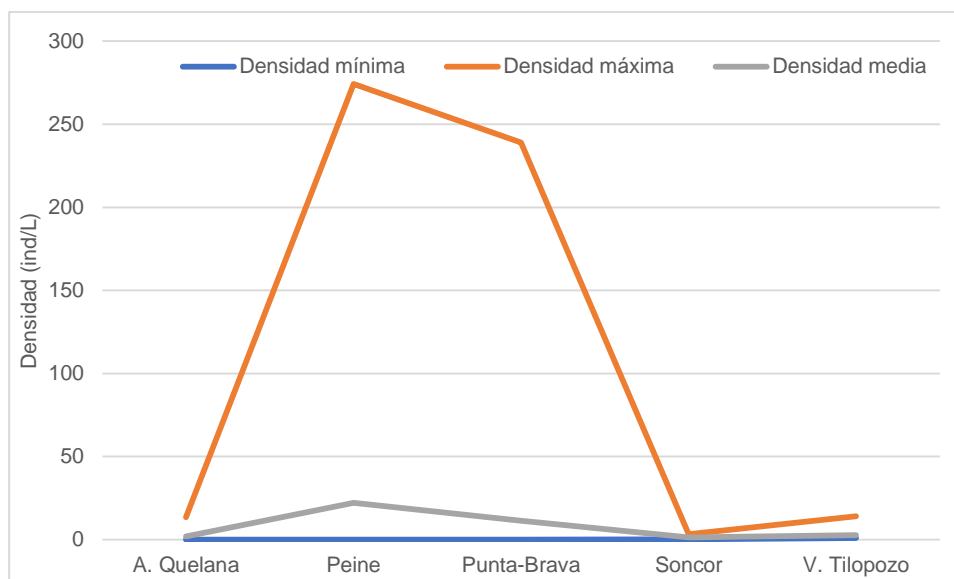


Figura 6-26: Densidades mínimas, medias y máximas de zooplancton según subsistema analizado

Tabla 6-19: Densidades mínimas, medias y máximas de zooplancton para los sectores de estudio (ind/L)

Sector	Densidad mínima	Densidad máxima	Densidad media
A. Quelana	0	13,4	1,8
Peine	0	274,3	22,2
Punta-Brava	0	239,1	11,4
Soncor	0,1	3,3	1,3
V. Tilopozo	1,0	14,1	2,6

Fuente: Elaboración Propia

En relación con si existen diferencias para las densidades presentadas por las microalgas planctónicas entre sectores en el salar, se detectó que el sector Soncor presenta diferencias significativas respecto a los restantes subsistemas lagunares, excepto Aguas de Quelana, y las lagunas La Punta y La Brava se observan diferentes del sector Peine (Salada, Saladita e Interna). Vegas de Tilopozo presentó diferencias significativas respecto de las densidades observadas Aguas de Quelana, Peine y las lagunas La Punta y La Brava (Tabla 6-20).

El análisis de similitud, utilizando la composición y abundancia del zooplancton evidenció diferencia estadística significativa del zooplancton respecto a los subsistemas estudiados ($p < 0,05$) (Tabla 6-21). El sector La Punta y La Brava fueron estadísticamente diferentes a Aguas de Quelana y Peine, que poseen mayor salinidad.

Lo anterior puede ser visualizado a través de un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) (Figura 6-27) donde se aprecia que los sectores son similares y se agrupan más afines a el sector Soncor y se alejan del sector de Tilopozo.

Tabla 6-20: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a densidad de zooplancton, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.

Sector	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V. Tilopozo
A. Quelana		1,87E-06	3,48E-06	0,7451	0,03084
Peine	1,87E-06		0,2707	0,008125	4,10E-05
Punta-Brava	3,48E-06	0,2707		0,01322	0,000394
Soncor	0,7451	0,008125	0,01322		0,2671
V. Tilopozo	0,03084	4,10E-05	0,000394	0,2671	

Fuente: Elaboración Propia. Celda con color indica diferencia estadística significativa ($p < 0.05$)

Tabla 6-21: Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a composición de taxa de zooplancton, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.

Sector	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V. Tilopozo
A. Quelana		0,0021	0,0001	0,8136	0,0001
Peine	0,0021		0,0001	0,5829	0,0001
Punta-Brava	0,0001	0,0001		0,2967	0,4621
Soncor	0,8136	0,5829	0,2967		0,0004
V. Tilopozo	0,0001	0,0001	0,4621	0,0004	

Fuente: Elaboración Propia. Celda con color indica diferencia estadística significativa ($p < 0.05$)

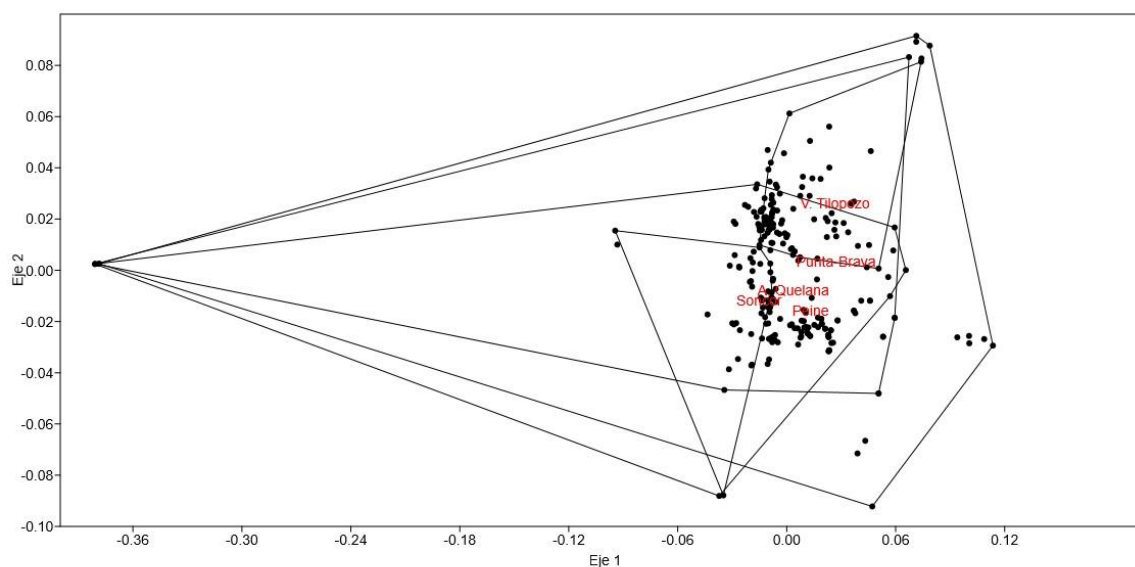


Figura 6-27: Análisis de ordenación con escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), para el zooplancton de los subsistemas lagunares del Salar de Atacama

Respecto a los *taxa* de zooplancton más abundantes en los subsistemas del Salar de Atacama analizados, se aprecia que en general el copépodo Canthocamptidae *Attheyella sp* fue el taxón mayormente representado (20,7%), seguido de los dípteros Ceratopogonidae (18,3%) y el rotífero *Brachionus plicatilis* (10,8%) (Figura 6-28 y Tabla 6-22). Entre estos, *Attheyella sp*, es muestreado en densidad considerables en al menos cuatro de los cinco sistemas estudiados. Por otro lado, los dípteros Ceratopogonidae, generalmente son de ambientes bentónicos por tanto es probable que en Peine exista una constante mezcla entre lo que se encuentra en la columna con lo que está en el fondo de los sistemas lacustres principalmente. Por lo tanto, la variabilidad entre las abundancias relativa, puede estar relacionado con las disponibilidades de hábitat y de alimento dentro de cada sistema

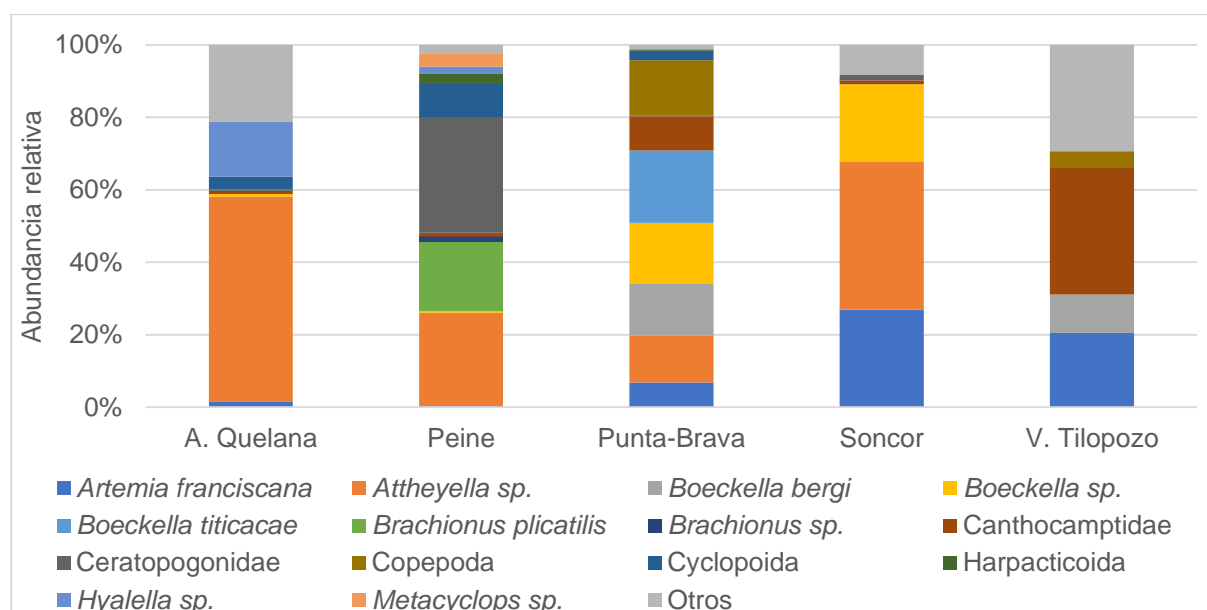


Figura 6-28: Abundancia relativa del zooplancton más representativo según subsistema de estudio

Tabla 6-22: Abundancia relativa (%) de zooplancton mayormente representado según subsistema de estudio en el Salar de Atacama

Taxa	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V. Tilopozo	Total
<i>Artemia franciscana</i>	1,6	0,3	6,8	26,9	20,5	3,4
<i>Attheyella sp.</i>	56,5	25,8	12,9	40,8	0	20,7
<i>Boeckella bergi</i>	0	0	14,3	0	10,6	5,7
<i>Boeckella sp.</i>	0,7	0,7	16,9	21,5	0	6,9
<i>Boeckella titicacae</i>	0	0	19,9	0	0	7,6
<i>Brachionus plicatilis</i>	0	18,8	0	0	0	10,8
<i>Brachionus sp.</i>	0	1,5	0	0	0	0,9
Canthocamptidae	0,9	1	9,5	1	35,2	5,1
Ceratopogonidae	0,3	31,7	0,2	1,5	0	18,3
Copepoda	0	0	15,3	0	4,3	5,9

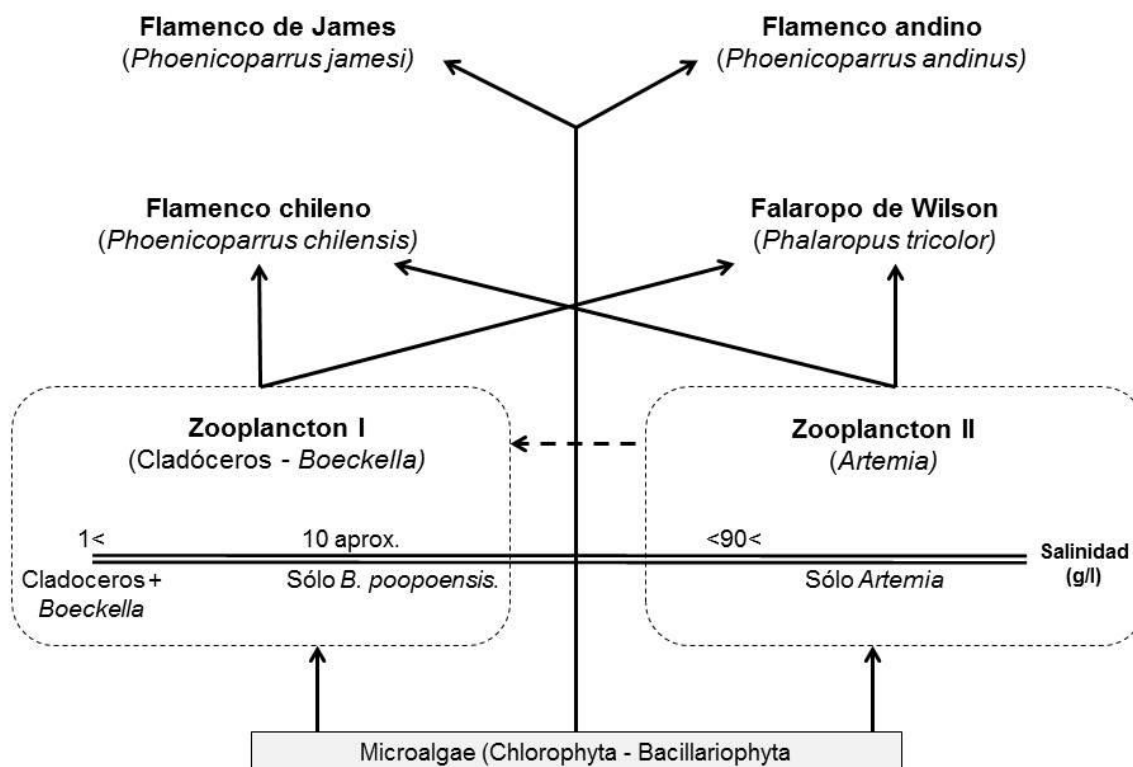
Cyclopoida	3,5	9,4	2,6	0	0,1	6,5
Harpacticoida	0	2,9	0,3	0	0	1,8
<i>Hyalella sp.</i>	15,2	1,9	0,1	0	0	1,3
<i>Metacyclops sp.</i>	0	3,7	0	0	0	2,1
Otros	21,2	2,3	1,2	8,3	29,3	2,9

Fuente: Elaboración Propia

87

Los componentes bióticos en estos subsistemas están regulados por la salinidad. Así los productores primarios corresponden a fitoplancton halofílico y/o bacterias que producen el alimento para el zooplancton filtrador (herbívoro) o para las aves acuáticas. El zooplancton, a su vez, puede ser depredado por aves zooplanctívoras. Sumado a esto, algunos copépodos son animales omnívoros que filtran fitoplancton y también predan sobre protozoos y estadios tempranos de desarrollo de otros zooplanctes, como es el caso de *Boeckella poopoensis* que preda sobre las larvas nauplio de *Artemia franciscana*, lo cual podría ser la causa que ambas especies no coexistan a pesar de que sus rangos de tolerancia a la salinidad lo permiten (De los Ríos-Escalante, 2010). Una característica importante de los cuerpos de agua en Chile es que se ha observado una mayor riqueza de zooplanctes en salinidades entre 5 g/L y 90 g/L, siendo posible encontrar conviviendo dos especies de copépodos. Sin embargo, sobre 90 g/L en salinidad, solo es posible encontrar presente a *Artemia franciscana*. El amplio gradiente de salinidad encontrado en lagos y lagunas del norte de Chile permite reconocer una correlación bastante fuerte entre la riqueza de especies y la salinidad. En general, tal correlación es inversa: a mayor valor de salinidad, un menor número de especies está presente (Figura 6-29) (De los Ríos-Escalante, 2010).

Los cuerpos de agua del norte de Chile son áreas de anidación y alimentación de aves acuáticas como los gallinules comunes (*Gallinula chloropus galeata* y *Gallinula chloropus pauxilla*), patos con cresta (*Lophonetta specularioides*), Flamenco chileno (*Phoenicoparrus chilensis*), flamenco andino (*Phoenicoparrus andinus*), flamenco de James (*Phoenicoparrus jamesi*) y falaropo de Wilson (*Phalaropus tricolor*). La comida de algunas aves acuáticas puede basarse en el fitoplancton, como es el caso del flamenco andino, lo que probablemente pueda conducir a la competencia entre el zooplancton y esas aves acuáticas. Otras aves acuáticas como el flamenco chileno y el falaropo de Wilson, predan sobre el zooplancton. Estas interacciones tróficas se han estudiado en observaciones básicas de campo, realizadas principalmente en localidades situadas en los territorios de Bolivia y Perú. En este escenario el zooplancton jugaría un papel clave como el principal herbívoro del fitoplancton y, a su vez, como presa principal de las aves acuáticas (Figura 6-29). La base de las redes tróficas son que las diatomeas y las microalgas hipersalinas como *Dunaliella salina* en el fitoplancton y las bacterias halofílicas, constituirían la principal presa para los crustáceos halofílicos como *Artemia franciscana*. Los crustáceos *Boeckella poopoensis* y *A. franciscana*, no coexisten en el mismo sistema, por un lado por la tolerancia a la salinidad que es mayor para *A. franciscana* (>90 g/l) y por otro, se cree que es debido a la predación que ejerce *Boeckella* sobre la larva nauplius de *A. franciscana* (De los Ríos-Escalante, 2010).



Fuente: Adaptada de De los Ríos-Escalante (2010)

Figura 6-29: Diagrama de interacciones tróficas en cuerpos de agua sin peces del Norte de Chile

6.1.3.5 Zoobentos

Entre las 217 estaciones encontradas que poseen registro respecto a este grupo biológico, fueron determinados 24 *taxa* de zoobentos. El sector que presentó el mayor número de *taxa* de zoobentos correspondió al Subsistema La Punta-La Brava con 20 *taxa*; seguido del Subsistema de vegas y lagunas de Tilopozo con 11 *taxa*, luego, sigue el Subsistema Peine con 9 *taxa*, Aguas de Quelana con 5 *taxa* y finalmente el Subsistema Soncor con 1 *taxa*. En el Anexo B se pueden ver en detalle la lista de los *taxa* de zoobentos que ocurren en distintos subsistemas hidrológicos del Salar de Atacama.

La diferencia en número de *taxa* encontrados en este caso tiene relación con el número de unidades muestrales por subsistema. Subsistema La Punta-La Brava el más analizado (97 estaciones), seguido por el Subsistema Peine (64 estaciones), Lagunas vecinas y vegas de Tilopozo (28 estaciones), Subsistema Aguas de Quelana (20 estaciones), finalmente el Subsistema Soncor (8 estaciones).

La comunidad zoobentónica cumple un rol en la transferencia de energía desde los productores primarios a los niveles tróficos superiores. Principalmente porque representan un eslabón intermedio en la red trófica. Por un lado, transforman la materia orgánica del medio, y por el otro son el alimento de peces y aves (CONAMA, 2008). En este caso, los *taxa* de zoobentos presentes en el área de estudio coinciden con lo reportado para otros sistemas de semejantes características (Sobarzo, 2014).

La mayoría de los *taxa* encontrados en el Salar de Atacama corresponden a larvas de dípteros, seguido de gastrópodos. La familia más abundante corresponde a la familia de copepoda Canthocamptidae. Esta familia tuvo una representatividad del 91,26% en subsistema Peine, seguido de un 89,1% en La Punta-La Brava, seguido de un 88,38% en Tilopozo, finalmente un 40,49% en aguas de Quelana. Se encontró ausente en subsistema Soncor, en el cual se hayo solo un taxón Ephydriidae (Figura 6-30). Los distintos grupos son más o menos dependiendo de la variedad de alimento y hábitats disponibles en los diferentes sistemas. La mayor diversidad y abundancia se puede traducir en una mayor disponibilidad de alimento para los grupos tróficos superiores, por ejemplo, aves.

La familia Canthocamptidae es un grupo muy diverso y un componente integral de las cadenas tróficas, variaciones en esta comunidad puede causar cambios drásticos en los procesos del ecosistema (Caramujo, 2015).

La especie *Heleobia atacamensis*, la cual, se encuentra actualmente en categoría de conservación “En Peligro Crítico” se encontró presente en los subsistemas Peine, Punta-La Brava y Aguas de Quelana, siendo en este último donde se registro su mayor abundancia.

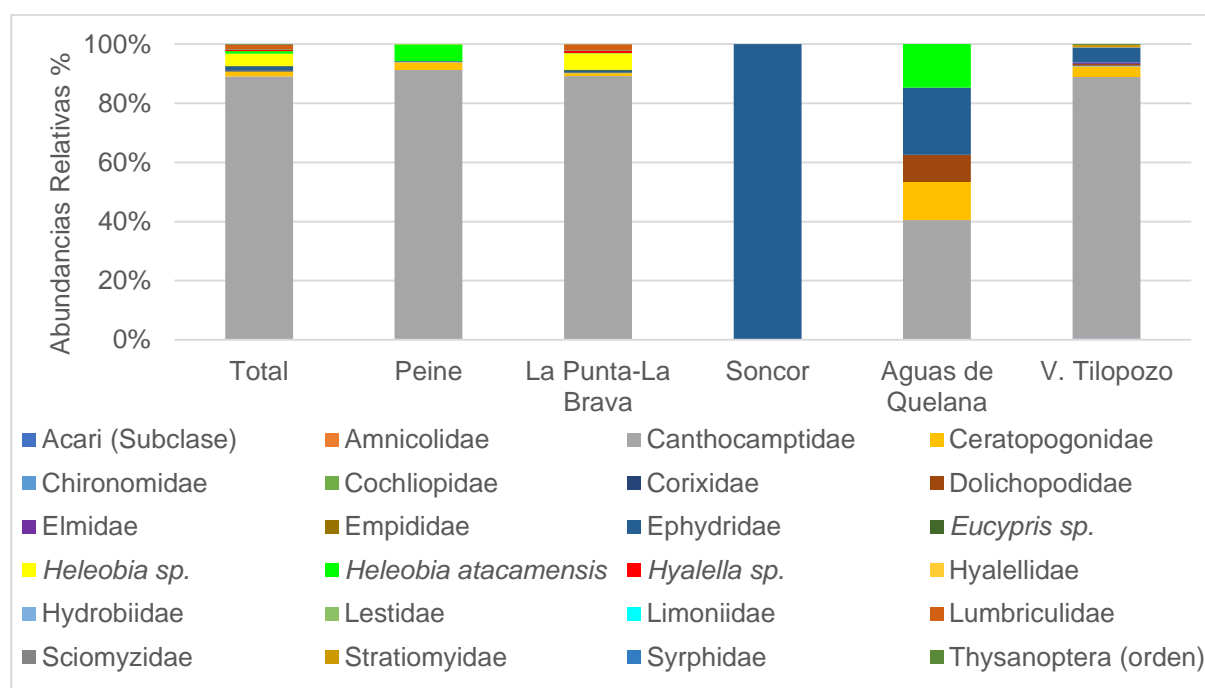


Figura 6-30: Abundancia relativa de los *taxa* de zoobentos según el Subsistema en estudio del Salar de Atacama

La riqueza media fue mayor en el Subsistema La Punta-La Brava con 1,8 *taxa*/sitio, seguido del subsistema de lagunas y vegas de Tilopozo con 1,79 *taxa*/sitio, Subsistema Peine con 1,4 *taxa*/sitio y finalmente el Subsistema Aguas de Quelana y Subsistema Soncor con 0,75 *taxa*/sitio (Tabla 6-23) Evidenciándose diferencia significativa en cuatro de los cinco subsistemas ($p < 0.05$, Tabla 6-24).

Tabla 6-23. Riqueza total y total media del zoobentos para los sectores de estudio

Sector	Riqueza total (n° <i>taxa</i>)	Riqueza total media (n° <i>taxa</i> / estación)
A. Quelana	5	0,75
Peine	9	1,4
Punta-Brava	20	1,8
Soncor	1	0,75
V. Tilopozo	11	1,79
Total	45	2,9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6-24. Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a riqueza de zoobentos, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.

Subsistema	Punta-Brava	V. Tilopozo	Peine	Soncor	A. Quelana
Punta-Brava		0,8141	0,06261	0,01965	0,0003823
V. Tilopozo	0,8141		0,3053	0,06219	0,006573
Peine	0,06261	0,3053		0,1184	0,01104
Soncor	0,01965	0,06219	0,1184		0,5859
A. Quelana	0,0003823	0,006573	0,01104	0,5859	

Fuente: Elaboración Propia. Celda con color indica diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

Respecto a la presencia/ausencia de *taxa* de macroinvertebrados bentónicos, un análisis de similitud utilizando índice de Jaccard evidencia diferencia estadística significativa entre algunos Subsistemas evaluados. Aguas de Quelana registró diferencia estadística significativa con el Subsistema La Punta-La Brava y Vegas de Tilopozo ($p < 0.05$) debido a que aguas de Quelana tiene menores abundancias que los otros subsistemas. Por otro lado, se observan diferencias significativas entre los subsistemas Peine y La Punta-La Brava ($p < 0.05$) (Tabla 6-25).

Esto puede ser visualizado a través de un análisis de escalamiento multidimensional no métrico, en que visualiza la ordenación de los sitios de análisis en relación con la presencia y ausencia de *taxa* de macroinvertebrados bentónicos (Figura 6-31).

Tabla 6-25. Comparación entre subsistemas en el Salar de Atacama respecto a composición de *taxa* de zoobentos, según prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba pareada de Mann-Whitney.

Subsistema	Punta-Brava	V. Tilopozo	Peine	Soncor	A. Quelana
Punta-Brava		0,691	0,0001	0,1362	0,0013
V. Tilopozo	0,691		0,4392	0,2343	0,01
Peine	0,0001	0,4392		0,7646	0,1485
Soncor	0,1362	0,2343	0,7646		0,9706
A. Quelana	0,0013	0,01	0,1485	0,9706	

Fuente: Elaboración Propia. Celda con color indica diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

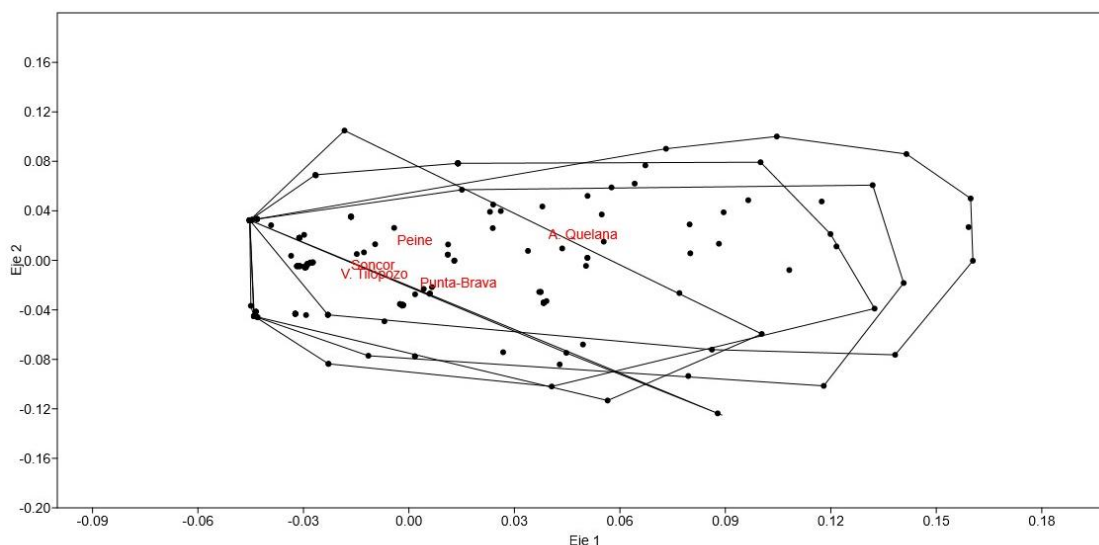


Figura 6-31: Análisis de ordenación con escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), para el zoobentos de los subsistemas lagunares del Salar de Atacama

6.1.3.6 Plantas vasculares acuáticas

Entre todos los sectores de estudio se registró un total de 11 plantas vasculares acuáticas, entre las que se diferenciaron 2 especies hidrófitas y 9 helófitas. En el Subsistema Aguas de Quelana, fue registrada sólo una especie, correspondiendo a *Ruppia marítima*. En La Punta-La Brava 4 especies y en Vegas de Tilopozo 9 especies (Tabla 6-26).

Respecto a la riqueza media, el subsistema Aguas de Quelana presentó 0,67 especies/estación. La Punta-La Brava 4.0 especies/estación y Vegas de Tilopozo 4.5 especies/estación, evidenciándose diferencias significativas entre Aguas de Quelana con los otros dos subsistemas ($p < 0,05$).

Tabla 6-26: Lista de especies de macrófitas según Subsistema en estudio del Salar de Atacama (símbolo X indica presencia de la especie en el sitio correspondiente)

Especie/Subsistemas	A. Quelana	Punta-Brava	V. Tilopozo	Hábito
<i>Baccharis juncea</i>			X	Helófito
<i>Distichlis spicata</i>			X	Helófito
<i>Juncus balticus</i>			X	Helófito
<i>Puccinelia frigida</i>		X		Helófito
<i>Polypogon interruptus</i>			X	Helófito
<i>Ruppia maritima</i>	X	X		Hidrófito
<i>Sarcocornia fruticosa</i>		X	X	Helófito
<i>Schoenoplectus californicus</i>			X	Helófito
<i>Tessaria absinthioides</i>			X	Helófito
<i>Triglochin palustris</i>		X	X	Helófito
<i>Zannichellia palustris</i>			X	Hidrófito

Fuente: Elaboración Propia

Cabe destacar, que respecto de las plantas vasculares acuáticas relacionadas con este tipo de subsistemas existe escasa información ecológica. La mayoría son estudios florísticos taxonómicos del norte de Chile.

Respecto a la presencia/ausencia de especies de macrófitas, un análisis de similitud utilizando índice de Jaccard evidencia diferencia estadística significativa entre los tres subsistemas ($p=0.0001$). En los sectores de vegas la presencia de plantas vasculares acuáticas se evidenció en mayor número de especies, en tanto, en las lagunas hipersalinas sólo fueron registradas *Ruppia filifolia* (hidrófita), *Sarcocornia fruticosa* (Helófita) y *Puccinelia frigida* (Helófita).

Los datos que permiten realizar estos análisis son de tipo cualitativo, esto es, presencia o ausencia de especies, sin considerar, por ejemplo, porcentaje de cobertura. Sumado a esto, los datos son escasos, dado que se identificaron plantas vasculares acuáticas en tres subsistemas acuáticos, siendo esperable en todos los subsistemas incluyendo la Laguna Tebenquiche. Esta hipótesis se sustenta en la descripción basada en la literatura y en los datos de colectas y estudios previos, presentado en el acápite 5.1.1.1 sobre los diferentes subsistemas de vegetación azonal de la Cuenca del Salar de Atacama.

Con estos antecedentes se dificulta cualquier análisis posterior, por ejemplo, la influencia de la salidad y temperatura, como ha sido expresado para los componentes bióticos descritos anteriormente, sobre la distribución de las plantas vasculares acuáticas. Por lo tanto, el desarrollo de investigaciones y asesorías, que incorporen metodologías cuantitativas para analizar este componente de los subsistemas acuáticos, es ineludible para mejorar la comprensión de su dinámica e influencia a nivel de ecosistema.

6.2 Base de datos del Modelo Conceptual Ecológico

La base de datos obtenida (ordenada y sistematizada), se entrega adjunta en formato digital como planilla de cálculo excel. Esta corresponde a una base de datos con más de 1200 entradas de información para alrededor de 600 registros incluyendo riqueza de especies, abundancias, densidades y valores de parámetros físicos y químicos de calidad de agua.

93

6.3 Formulación del Modelo Conceptual Ecológico del Salar de Atacama, representación formal y gráfica del modelo y matriz de interacciones entre componentes y subcomponentes

El proceso de modelamiento participativo permitió identificar y redefinir los subcomponentes del modelo conceptual, dando como resultado un total de 9 componentes que comprenden 45 subcomponentes. Se entenderá para la construcción del MCE que los componentes seleccionados a continuación quedan definidos como:

1. Clima: Conjunto de variables meteorológicas que definen las condiciones ambientales abióticas en la Cuenca del Salar de Atacama. Se consideran particularmente aquellas variables de estado relativas al forzamiento por radiación solar, temperatura, precipitación, velocidad del viento y humedad relativa.
2. Geología: Conjunto de atributos y variables relacionados a los materiales de la corteza terrestre y su estructura. Se consideraron en particular características como la Topografía, el tipo de sustrato, tipo de Mineral y suelo presentes en el territorio
3. Hidrogeología: Conjunto de variables o atributos que describen la circulación de aguas superficiales y subterráneas a lo largo de los distintos tipos de mineral y sustrato presentes en la Cuenca del Salar de Atacama. Considera tanto los niveles de los acuíferos de salmuera y aguas subterráneas como las tasas de flujo y la surgencia de agua dulce en puntos particulares de la Cuenca.
4. Hidrología: Conjunto de variables o atributos ambientales que caracterizan los componentes como lagunas y cursos de agua. Este componente considera procesos lagunacomos la Evaporacion y Evapotranspiración, la Escorrentia superficial de aguas a través de esteros o cursos de agua, al igual que variables como el Nivel hidrico de las lagunas, la disponibilidad hídrica del suelo y la calidad agua de cursos de aguas y lagunas.
5. Líquenes y Hongos: Se define este componente correspondiente a las especies de líquenes y hongos presentes en la Cuenca del Salar de Atacama.
6. Flora y vegetación: Conjunto de especies vegetales presentes en la Cuenca del Salar de Atacama que se consideraron a efectos de la elaboración del Modelo Ecológico Conceptual. Considera la flora y vegetación Azonal y Zonal. Se define la flora y vegetación Azonal como el conjunto de especies (flora) y formaciones vegetacionales (vegetación) que está asociada a factores locales del sitio de estudio, específicamente a la presencia permanente de humedad o anegamiento constante (Ahumada y Faúndez, 2007; Teillier et al., 2005). Como ejemplo de este tipo de vegetación se pueden señalar los bofedales en el norte del país y también las vegas altoandinas y plantas de cojín de la cordillera. Por otra parte, la flora y vegetación Zonal

se define como aquel conjunto de especies (flora) y formaciones vegetacionales (vegetación) cuya distribución y abundancia están condicionadas principalmente por factores climáticos.

7. Fauna: Se considera el conjunto de especies animales presentes en ambientes terrestres de la Cuenca del Salar de Atacama. Excluye la fauna acuática, que se considera en el componente de Ecosistemas Acuáticos. Se consideran los siguientes grupos de animales: Insectos terrestres, Arácnidos terrestres, Reptiles, Anfibios, Pequeños mamíferos como roedores y Grandes mamíferos como zorros y Guanacos. En el caso de las aves se consideraron las interacciones entre distintos gremios como las aves acuáticas, granívoras, frugívoras y aves rapaces.
8. Ecosistemas Acuáticos: Conjunto de especies y grupos funcionales presentes en los cursos de agua superficial y los cuerpos de agua como las lagunas. Incluye productores primarios fotosintéticos de fondo (fitobentos) y de vida libre en la columna de agua (fitoplancton), al igual que invertebrados acuáticos de fondo (zoobentos) y de vida libre en la columna de agua (zooplancton). Se consideran además los tapetes microbianos.
9. Ser humano: Este componente describe las acciones y actividades del ser humano que revisten potencial efecto sobre los componentes biológicos del modelo ecológico conceptual. Se consideraron actividades como el bombeo de agua dulce y salmuera, efectos que repercuten en el cambio uso suelo, el desarrollo de obras de infraestructura vial que puedan alterar el paisaje y sus patrones de flujo o escorrentía. Además, se consideraron aquellas especies domésticas asociadas a la presencia del ser humano como por ejemplo la ocurrencia de Burros en puntos de la cuenca del Salar de Atacama. Finalmente se incluyen en este componente la existencia de asentamientos humanos y asentamientos o faenas industriales.

En la siguiente tabla se ilustran los componentes y subcomponentes identificados:

Tabla 6-27: Lista de componentes y subcomponentes del modelo ecológico conceptual para el Salar de Atacama

Tipo	Componente	Subcomponente	Código subcomponente
Abiotico	C1 Clima	Precipitacion	SC ₁₁
		Radiacion solar	SC ₂₁
		Viento	SC ₃₁
		Temperatura	SC ₄₁
		Humedad relativa	SC ₅₁
	C2 Geologia	Topografia	SC ₁₂
		Tipo de Sustrato	SC ₂₂
		Tipo de Mineral	SC ₃₂
		Suelo	SC ₄₂
		Nivel acuifero	SC ₁₃

	C3 Hidrogeología	Nivel salmuera	SC ₂₃
		Flujo subterráneo	SC ₃₃
		Flujo subsuperficial	SC ₄₃
		Surgencias	SC ₅₃
	C4 Hidrología	Evaporación	SC ₁₄
		Evapotranspiración	SC ₂₄
		Escorrentía	SC ₃₄
		Nivel hídrico lagunas	SC ₄₄
		Disponibilidad hídrica	SC ₅₄
		Calidad agua	SC ₆₄
Tipo	Componente	Subcomponente	Código subcomponente
Abiótico	C1 Clima	Precipitación	SC ₁₁
		Radiación solar	SC ₂₁
		Viento	SC ₃₁
		Temperatura	SC ₄₁
		Humedad relativa	SC ₅₁
	C2 Geología	Topografía	SC ₁₂
		Tipo de Sustrato	SC ₂₂
		Tipo de Mineral	SC ₃₂
		Suelo	SC ₄₂
	C3 Hidrogeología	Nivel acuífero	SC ₁₃
		Nivel salmuera	SC ₂₃
		Flujo subterráneo	SC ₃₃
		Flujo subsuperficial	SC ₄₃
		Surgencias	SC ₅₃
	C4 Hidrología	Evaporación	SC ₁₄
		Evapotranspiración	SC ₂₄
		Escorrentía	SC ₃₄
		Nivel hídrico lagunas	SC ₄₄
		Disponibilidad hídrica	SC ₅₄
		Calidad agua	SC ₆₄

Tipo	Componente	Subcomponente	Código subcomponente
Biotico	C5 Liqueños y Hongos	Liqueños y Hongos	SC ₁₅
	C6 Flora y Vegetación	Flora y vegetación Zonal	SC ₁₆
		Flora y vegetación Azonal	SC ₂₆
	C7 Fauna	Insectos terrestres	SC ₁₇
		Arácnidos terrestres	SC ₂₇
		Aves acuáticas	SC ₃₇
		Aves frugívoras o granívoras	SC ₄₇
		Aves insectívoras	SC ₅₇
		Aves rapaces	SC ₆₇
		Reptiles	SC ₇₇
		Anfibios	SC ₈₇
		Micromamíferos	SC ₉₇
		Macromamíferos	SC ₁₀₇
	C8 Ecosistemas acuáticos	Zoobentos	SC ₁₈
		Fitoplancton	SC ₂₈
		Fitobentos	SC ₃₈
		Tapetes microbianos	SC ₄₈
		Zooplancton	SC ₅₈
Antropico	C9 Ser humano	Bombeo agua dulce	SC ₁₉
		Bombeo salmuera	SC ₂₉
		Cambio uso suelo	SC ₃₉
		Infraestructura	SC ₄₉
		Especies domésticas	SC ₅₉
		Asentamiento humano	SC ₆₉
		Asentamiento Industrial	SC ₇₉

Fuente: Elaboración Propia

Una vez identificados los componentes y subcomponentes (Tabla 6-27), se procedió a realizar una corroboración de las interacciones entre ellos, obteniendo una tabla a través del trabajo de revisión bibliográfica y consulta a expertos (Tabla 6-28).

A continuación, se entrega la definición de cada uno de los Subcomponentes considerados en el modelo ecológico conceptual:

1. Precipitación: Esta se entiende como todas aquellas partículas acuosas de fase líquida o sólida que se originan en la atmósfera y caen a la superficie de la tierra. Esta usualmente se refiere a la cantidad,

generalmente expresada en milímetros o pulgadas de profundidad de agua líquida, de la sustancia de agua que ha caído en un punto determinado durante un período de tiempo específico.

2. Radiación solar: Corresponde a la radiación electromagnética total emitida por el sol que no ha sido dispersada o absorbida por la atmósfera y que alcanza la superficie terrestre. En una primera aproximación, el sol se irradia ondas electromagnéticas que caen en un 99.9% dentro del intervalo de longitud de onda de 0.15 a 4.0 μm , con una intensidad máxima cercana a 0.5 μm . Aproximadamente la mitad de la energía total en el haz solar está contenida dentro del espectro visible de 0.4 a 0.7 μm , y la mayor parte de la otra mitad se encuentra en el infrarrojo cercano, una pequeña porción adicional situada en el ultravioleta. Estas longitudes de onda pueden ser absorbidas o dispersadas por la presencia de material particulado, gases o vapor de agua en la atmósfera, por lo que su composición puede variar.
3. Viento: Desplazamiento de masas de aire en movimiento relativo a la superficie de la tierra. Dado que los componentes verticales del movimiento atmosférico son relativamente pequeños, especialmente cerca de la superficie de la Tierra, los meteorólogos usan el término para designar casi exclusivamente al componente horizontal, que es la acepción que se usa en el presente informe.
4. Temperatura: Se entiende como la temperatura del aire cercano a la superficie terrestre, tal como se registra mediante termómetros en estaciones meteorológicas.
5. Humedad relativa: Corresponde a la relación entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación con respecto al agua líquida, expresada en porcentaje.
6. Topografía: Se define operacionalmente como la variación en el relieve del terreno, que da origen a la distribución de las características e hitos geológicos a lo largo del territorio. Comprende tanto la variación en elevación como la variación en pendiente y aspecto de distintos puntos del territorio.
7. Tipo de Sustrato: Se entiende como la composición del suelo subsuperficial, que puede variar dependiendo de la proporción de grava, arcilla o arena.
8. Tipo de Mineral: Se refiere a las características minerales del terreno subsuperficial.
9. Suelo: Se refiere a la capa superficial del suelo, compuesta de una fase inorgánica y de una fase orgánica que incluye tanto el microbiota como los organismos presentes en el suelo. Este subcomponente puede estar dominado por costras salinas con material particulado inorgánico en los sectores más cercanos al Salar y también contener una gran cantidad de materia orgánica muerta en los ecosistemas de vegas, donde se puede formar un horizonte orgánico constituido por las raíces y los rizomas de especies vegetales dominantes.
10. Nivel acuífero: Se refiere al nivel del acuífero de agua salobre. Mas específicamente al nivel freático, entendido como el nivel de la sección superior de la zona de saturación en el suelo.
11. Nivel salmuera: Se refiere al nivel del núcleo de salmuera.
12. Flujo subterráneo: Se refiere al desplazamiento y flujo hidrogeológico de aguas salobres a través de las rocas subterráneas profundas.

13. Flujo subsuperficial: Se refiere al desplazamiento y flujo hidrogeológico de aguas salobres a través de las capas más someras del suelo, cercanas a la superficie del terreno.
14. Surgencias: Corresponde a sectores de la Cuenca del Salar de Atacama donde se producen afloramientos de agua a la superficie, dando origen a vertientes que escurren a lo largo de cauces de esteros. También corresponde al afloramiento de agua en sectores que se anegan o inundan, sosteniendo formaciones vegetacionales como herbazales. Estos afloramientos obedecen a la cercanía de la napa subterránea con la superficie. Los puntos de afloramiento en relación con sustratos salinos o su propio contenido de sales influyen directamente en el gradiente de salinidad del suelo y llega al nivel radicular, por capilaridad.
15. Evaporación: Se refiere al cambio de fase del agua desde estado líquido a gaseoso, proceso que puede ocurrir tanto en la superficie de las lagunas como en suelos anegados o húmedos. En estos últimos, la permeabilidad del sustrato juega un papel importante en determinar la cuantía de la evaporación.
16. Evapotranspiración: corresponde al proceso de traspaso de agua desde el suelo a la atmósfera como consecuencia de la evaporación desde el suelo y de la transpiración de las plantas a través del follaje.
17. Escorrentía: Flujo superficial de aguas, ya sean estas provenientes de eventos de precipitación o producto de afloramientos o surgencias de aguas subsuperficiales.
18. Nivel hídrico lagunas: Volúmen de agua presente en los cuerpos de agua lagunares. Esta puede medirse ya sea mediante la profundidad en puntos de referencia o de manera indirecta mediante la estimación del espejo de agua o superficie cubierta por el agua en cada laguna.
19. Disponibilidad hídrica: Disponibilidad de agua presente en el suelo superficial.
20. Calidad de agua: Conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos que describen la calidad del agua presente en cursos de agua o lagunas. Usualmente considera aspectos físicos como la temperatura y conductancia eléctrica, o bien aspectos químicos como la salinidad, pH y concentración de Nutrientes.
21. Liqueles y Hongos: Este es un componente con importancia desde el punto de vista de la biodiversidad, y puede cobrar importancia en los procesos de colonización de sustratos en el caso de los líquenes, mientras que los hongos participan en los procesos de descomposición de materia orgánica muerta en el suelo. No obstante, en este sistema en particular, su aporte es poco significativo en los procesos tróficos, a escala de los ecosistemas, debido a la baja biomasa y productividad dentro de la cuenca del Salar de Atacama.
22. Flora y vegetación Zonal: Se define la flora y vegetación Zonal como aquel conjunto de especies (flora) y formaciones vegetacionales (vegetación) cuya distribución y abundancia están condicionadas principalmente por factores climáticos.
23. Flora y vegetación Azonal: Se define la flora y vegetación Azonal como el conjunto de especies (flora) y formaciones vegetacionales (vegetación) que está asociada a factores locales del sitio de estudio, específicamente a la presencia permanente de humedad o anegamiento constante (Ahumada y Faúndez, 2007; Teillier et al., 2005). Como ejemplo de este tipo de vegetación se pueden señalar los bofedales en el norte del país y también las vegas altoandinas y plantas de cojín de la cordillera.

24. Insectos: La fauna de insectos se encuentra asociada a la vegetación, en diferentes relaciones que generalmente se dan a nivel específico de plantas. En muchos casos son dependientes desde el punto de vista de la alimentación.
25. Arácnidos: Corresponden a arañas u opiliones que puedan estar presentes en la Cuenca del Salra de Atacama.
26. Aves acuáticas: Este subcomponente corresponde a especies de aves migratorias como las tres especies de flamenco altoandinos *Phoenicopus chilensis*, *Phoenicoparrus jamesi* y *Phoenicoparrus andinus*. Este grupo funcional incluye también aves migratorias como los chorlos y playeros, al igual que aves como la gaviota andina (*Chroicocephalus serranus*) y el pato juarjual (*Lophonetta specularioides*)
27. Aves frugívoras o granívoras: Este grupo funcional corresponde a aves que consumen frutos o semillas. En la cuenca del Salar de atacama estas ultimas son las dominantes, y se ven representadas por especies como el Chirigue (*Sicalis olivascens chloris*), el pájaro plomo (*Phrygilus unicolor*), o el Chincol (*Zonotrichia capensis*), que se alimentan de semillas de plantas zonales como *Adesmia spp.*
28. Aves insectívoras: Este grupo funcional corresponde a aves como la dormilona de frente negra (*Muscisaxicola frontalis*), el Colegial del norte (*Lessonia oreas*) que se alimenta de insectos pequeños y sus larvas. Otras especies en este grupo funcional incluyen a la Golondrina bermeja (*Hirundo rustica*) o el Mero gaucho (*Angrionis montana*) (Rockwood Ltda 2015). Cabe destacar que algunas de estas especies pueden incluir tanto anfibios como lagartijas dentro de su dieta.
29. Aves rapaces: Este grupo funcional corresponde a aves como la lechuza (*Tyto alba*), el Pequén (*Athene cunicularia*), halcones (por ejemplo, *Falco femoralis*, *Falco peregrinus* o *Falco sparverius*) y el aguilucho (*Geranoaetus polyosoma*)
30. Reptiles: Este subcomponente incluye dos especies de lagartijas, las que, pese a no ser muy abundantes, se relacionan necesariamente con los insectos, de los cuales dependen desde el punto de vista trófico. Esto incluye especies como la Lagartija de Fabian (*Liolaemus fabiani*) o la Lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*).
31. Anfibios: Este subcomponente esta representado por el Sapo espinoso o sapo de rulo *Bufo spinolosus*, que ha sido documentado en el estero Vilama de San Pedro de Atacama y por el el sapito de cuatro ojos (*Pleurodema thaul*), especies que ha sido detectada de forma indirecta mediante el canto en estudios realizados por consultores ambientales (Rockwood Ltda 2015).
32. Micromamíferos: Este subcomponente incluye a roedores como el El tuco tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*), el Ratón andino (*Abrothrix andinus*), el Ratón de pie sedoso (*Eligmodontia puerulus*) y el Ratón orejudo amarillento (*Phyllotis xanthopygus*). Además, se ha descrito en líneas de base a la marmosa pálida (*Thylamis pallidor*), marsupial de pequeño tamaño.
33. Macromamíferos: Estos corresponden a mamíferos de mayor tamaño, que funcionalmente pueden corresponder a carnívoros tope o a herbívoros de gran tamaño. En el caso de los carnívoros, los zorros, *Pseudalopex culpaeus* o *Pseudalopex megalopecterus* corresponden a los depredadores tope de la trama

trófica descrita para ambientes de Puna, que es relevante para describir los ambientes adyacentes a la costra del Salar de Atacama.

34. Zoobentos: Comprende a la fauna de invertebrados acuáticos asociados al fondo de los ecosistemas acuáticos.
35. Fitoplancton: Comprende a la biota de productores primarios como microalgas que se encuentran asociadas a la columna de agua de los ecosistemas acuáticos.
36. Fitobentos: Comprende a la biota de productores primarios asociados al fondo de los ecosistemas acuáticos.
37. Tapetes microbianos: Este subcomponente incluye un consorcio de cianobacterias, bacterias y otros microorganismos asociados al fondo de los cuerpos lagunares.
38. Zooplancton: Comprende a la fauna de invertebrados acuáticos asociados a la columna de agua de los ecosistemas acuáticos.
39. Bombeo agua dulce: Este subcomponente corresponde a la actividad de extracción de agua dulce desde pozos.
40. Bombeo salmuera: Este subcomponente corresponde a la actividad de extracción de salmuera desde el núcleo de salmuera.
41. Cambio uso suelo: Este subcomponente corresponde a aquellas actividades en las que un determinado sector de la cuenca experimente un cambio en uso de suelo, ya sea para el desarrollo de una actividad productiva o para el desarrollo de edificaciones u otra obra.
42. Infraestructura: Este subcomponente corresponde al desarrollo de obras de infraestructura vial que puedan alterar el paisaje y sus patrones de flujo o escorrentía. Finalmente se incluyen en este componente la existencia de asentamientos humanos y asentamientos o faenas industriales.
43. Especies domésticas: Este subcomponente corresponde a aquellas especies domésticas asociadas a la presencia del ser humano como por ejemplo la ocurrencia de Burros en puntos de la cuenca del Salar de Atacama.
44. Asentamiento humano: Corresponde a poblados o sectores urbanos emplazados al interior de la cuenca del Salar de Atacama.
45. Asentamiento Industrial: Corresponde a asentamientos o faenas industriales emplazadas al interior de la cuenca del Salar de Atacama.

100

Esta complementó la matriz de adyacencia, indicando y atribuyendo cada una de las interacciones. En la Tabla 6-28 se entrega la matriz de Interacciones:

Tabla 6-28: Matriz de interacciones entre los subcomponentes del modelo ecológico conceptual para el Salar de Atacama en el ambiente Acuático y Terrestre.

Desde	Hacia	Interacción o Condición	Observaciones		Ambiente
			Desde	Hacia	
Avifauna acuática	Fitobentos	Hábitat	Avifauna acuática	Remoción y destrucción del hábitat de fitobentos	Acuático
	Fitoplancton	Hábitat		Alteración de hábitat	
	Tapetes microbianos	Hábitat		Remoción y destrucción de Tapetes microbianos y su hábitat	
Calidad de agua	Avifauna	Condición	Salinidad	Avifauna	Acuático
	Calidad de agua		Calidad de agua	Calidad de agua	
	Fitobentos		Temperatura	Fitobentos	
			Salinidad		
			Oxígeno		
			Nutrientes		
	Fitoplancton		Temperatura	Fitoplancton	
			Salinidad		
			Oxígeno		
			Nutrientes		
	Flora y vegetación Azonal		Temperatura	Flora y vegetación Azonal	
			Salinidad		
Calidad de Agua	Flora y vegetación Azonal	Condición	Oxígeno	Flora y vegetación Azonal	Acuático
	Tapetes microbianos		Nutrientes	Tapetes microbianos	
			Temperatura		
			Salinidad		
			Oxígeno		
			Nutrientes		
	Zoobentos		Temperatura	Zoobentos	

Calidad de agua	Zooplancton		Temperatura	Zooplancton	Acuático
			Salinidad		
			Oxigeno		
			Temperatura		
			Salinidad		
			Oxigeno		
Escorrentía	Calidad de agua		Escorrentía	Calidad de agua	Acuático
	Nivel hídrico lagunas			Espejo laguna / Nivel hídrico	
Evaporación	Calidad de agua		Evaporación	Calidad de agua	Acuático
	Nivel hídrico lagunas			Espejo laguna / Nivel hídrico	
Fitobentos	Aves acuáticas	Depredación	Fitobentos	Aves acuáticas	Acuático
	Fitobentos	Competencia		Fitobentos	
	Fitoplancton			Fitoplancton	
Fitobentos	Tapetes microbianos	Competencia	Microalga	Bacteria	Acuático
		Simbiosis			
	Zoobentos	Depredación	Fitobentos	Zoobentos Ramoneador o Raspador	
Fitoplancton	Aves acuáticas	Depredación	Fitoplancton	Aves acuáticas	Acuático
	Fitoplancton	Competencia	Fitoplancton	Fitoplancton	
	Zoobentos	Depredación	Fitoplancton	Zoobentos Colector (Filtradores o Suspensívoros)	
	Zooplancton	Depredación	Fitoplancton	Zooplancton filtrador	
Fitobentos	Tapetes microbianos	Competencia	Microalga	Bacteria	Acuático
		Simbiosis			

Fitobentos	Zoobentos	Depredación	Fitobentos	Zoobentos Ramoneador o Raspador	Acuático
Fitoplancton	Aves acuáticas	Depredación	Fitoplancton	Aves acuáticas	Acuático
	Fitoplancton	Competencia	Fitoplancton	Fitoplancton	
	Zoobentos	Depredación	Fitoplancton	Zoobentos Colector (Filtradores o Suspensívoros)	
	Zooplancton	Depredación	Fitoplancton	Zooplancton filtrador	
Flora y vegetación Azonal	Artrópodos terrestres	Hábitat	Flora y vegetación Azonal	Artrópodos terrestres	Acuático
	Aves acuáticas	Hábitat		Aves acuáticas	
		Herbivoría		Llamas domesticadas	
	Especies Domésticas	Herbivoría		Fitobentos	
	Fitobentos	Competencia		Fitoplancton	
	Fitoplancton	Hábitat			
	Fitoplancton	Competencia			
	Flora y vegetación Azonal	Competencia	Competencia intra e interespecífica	Competencia intra e interespecífica	
Flora y vegetación Azonal	Macromamíferos	Herbivoría	Flora y vegetación Azonal	Macromamíferos	Acuático
	Zoobentos	Depredación		Zoobentos Triturador	
		Hábitat		Perforador de Macrófitas	
	Zooplancton				
Flujo subsuperficial	Nivel hídrico lagunas	Condición	Afloramiento de aguas a niveles superficiales	Espejo laguna / Nivel hídrico	Acuático
Nivel hídrico lagunas	Calidad de agua	Condición	Espejo laguna /	Calidad de agua	Acuático
	Fitobentos	Hábitat	Nivel hídrico	Fitobentos	
	Fitoplancton			Fitoplancton	

Nivel hídrico lagunas	Flora y vegetación Azonal	Hábitat	Nivel hídrico	Flora y vegetación Azonal	Acuático
	Tapetes microbianos			Tapetes microbianos	
	Zoobentos			Zoobentos	
	Zooplankton			Zooplankton	
Precipitación	Nivel hídrico lagunas	Condición	Precipitación	Espejo laguna / Nivel hídrico	Acuático
Precipitación	Calidad de agua	Condición	Precipitación	Calidad de agua	Acuático
Radiación solar	Fitobentos	Condición	UVA/UVB	Fitobentos	Acuático
	Fitoplancton			Fitoplancton	
	Flora y vegetación Azonal			Flora y vegetación Azonal	
	Tapetes microbianos			Tapetes microbianos	
	Zooplankton			Zooplankton	
Tapetes microbianos	Avifauna	Depredación	Tapetes microbianos	Avifauna	Acuático
	Tapetes microbianos	Competencia		Tapetes microbianos	
	Zoobentos	Depredación		Zoobentos	
Tipo de Sustrato	Fitobentos	Hábitat	Tipo de Sustrato	Fitobentos	Acuático
	Flora y vegetación Azonal		Tipo de Sustrato	Flora y vegetación Azonal	
	Flora y vegetación Azonal		Tipo de Sustrato	Flora y vegetación Azonal	
	Nivel acuífero	Condición	Tipo de Sustrato	Nivel acuífero	
	Tapetes microbianos	Hábitat	Tipo de Sustrato	Tapetes microbianos	
	Zoobentos	Hábitat	Granulometría y Materia orgánica	Zoobentos	

Topografía	Flora y vegetación Azonal	Condición	Topografía	Flora y vegetación Azonal	Acuático
Viento	Fitoplancton	Dispersión	Viento	Fitoplancton	Acuático
	Flora y vegetación Azonal	Polinización		Flora y vegetación Azonal	
Viento	Zooplancton	Dispersión	Viento	Zooplancton	Acuático
Zoobentos	Insectos	Desarrollo	Larvas de insectos	Insectos adultos	Acuático
	Aves acuáticas	Depredación	Zoobentos	Aves acuáticas	
	Zoobentos	Competencia		Zoobentos	
	Zoobentos	Depredación	Zoobentos Carnívoro	Zoobentos	
Zooplancton	Insectos	Desarrollo	Larvas de insectos	Insectos adultos	Acuático
	Aves acuáticas	Competencia	Zooplancton filtrador	Flamenco andino	
		Depredación	Zooplancton	Aves acuáticas	
	Fitobentos	Competencia	Cistos de resistencia de <i>Artemia franciscana</i>	Fitobentos	
Zooplancton	Zoobentos	Competencia	Cistos de resistencia de <i>Artemia franciscana</i> ; Larvas de insectos	Zoobentos; Larvas de insectos	Acuático
		Facilitación	Larvas de insectos	Larvas de insectos	
		Depredación	Zooplancton	Zoobentos carroñero	
	Zooplancton	Competencia	Copépodos	Copépodos/Artemia franciscana	
		Depredación	Larvas zooplancton y protozoos	Zooplancton	
Arácnidos	Aves insectívoras	Depredación	Arácnidos	Aves insectívoras	Terrestre
Insectos	Avifauna	Depredación	Coleópteros	Rapaces	Terrestre

Insectos	Flora y vegetación Zonal	Polinización	centris mixto, pachodynerus peruensis, apis mellifera, leptotes trigemmatas	Flora y vegetación Zonal: prosopis strombulifera, prosopis tamarugo	Terrestre
Insectos	Flora y vegetación Zonal	Hábitat	lugar de apareamiento para leptotes trigemmatas	Flora y vegetación Zonal: prosopis spp.	Terrestre
Insectos	Flora y vegetación Zonal	Depredación	polen y nectar como recompensa observado para los apoidea y otros insectos que visitan prosopis, tales comovilla sp., (bombyliidae)	Flora y vegetación Zonal: prosopis spp.	Terrestre
Arácnidos	Macromamíferos		Escorpiones	Zorro	Terrestre
Insectos	Macromamíferos		Coleópteros	Zorro	Terrestre
Arácnidos	Reptiles		Escorpiones	Lagartijas	Terrestre
Arácnidos	Reptiles		Insectos	Lagartijas	Terrestre
Avifauna	Avifauna		Aves granívoras o frugívoras e insectívoras	Rapaces	Terrestre
Aves herbívoras	Macromamíferos		Zorro	Suri	Terrestre
Especies Domésticas	Macromamíferos		Burros	Zorro	Terrestre
Micromamíferos	Macromamíferos		Roedores y marsupiales	Zorro	Terrestre
Reptiles	Avifauna	Depredación	Lagartijas	Rapaces	Terrestre

Clima	Flora y vegetación Zonal	Condición	Las características climáticas en un Condición altitudinal altoandino determinan, entre otras, la productividad primaria, diversidad, cobertura y formas de vida que presentan las plantas (cita textual)	vegetacion zonal	Terrestre
Especies Domésticas	Flora y vegetación Azonal	Depredación	alpaca, llama	flora azonal: herbivoria de las especies deyeuxia curvula, eleocharis albibracteata, oxychloe andina, aa nervosa, ranunculus uniflorus	Terrestre
Especies Domésticas	Flora y vegetación Azonal	Depredación	alpaca, llama	vegetacion azonal: herbivoria de especies del bofedal	Terrestre
Especies Domésticas	Flora y vegetación Zonal	Depredación	alpaca, llama	Flora y vegetación Zonal: herbivoria de festuca orthophylla (pajonal), parastrephia lucida (tolar)	Terrestre
Precipitación	Tipo de Sustrato	Condición	Precipitación	Tipo de Sustrato	Terrestre
Flora y vegetación Azonal	Insectos	Hábitat	Flora y vegetación Azonal	lepidópteros	Terrestre
		Hábitat	Flora y vegetación Azonal	coleópteros	

Flora y vegetación Azonal	Insectos	Hábitat	Flora y vegetación Azonal	dípteros	Terrestre	
		Hábitat	Flora y vegetación Azonal	himenópteros		
	Arácnidos	Hábitat	no aplica	Arácnidos		
		Parasitismo	no aplica	Arácnidos		
	Insectos	Parasitismo	Flora y vegetación Azonal	himenópteros		
		Polinización	Flora y vegetación Azonal	himenópteros		
		Depredación	Flora y vegetación Azonal	himenópteros		
	Macromamíferos	Depredación	vegetacion azonal: spp de vega	lama guanicoe		
	Precipitación	Condición	Flora y vegetación Azonal	Precipitación		
Flora y vegetación Zonal	Insectos	Depredación	Zona y vegetación azonal	Coleópteros	Terrestre	
				Lepidópteros		
				Himenópteros		
				Dípteros		
		Hábitat		Insectos		
				Coleópteros		
				Dípteros		
				Himenópteros		
		Polinización		Lepidópteros		
				lepidópteros		
		Hábitat		lepidópteros		
	Flora y vegetación Zonal	Artrópodos terrestres	Depredación		himenópteros	Terrestre

Flora y vegetación Zonal	Artrópodos terrestres	Depredación	Flora y vegetación Zonal	coleópteros	Terrestre
Flora y vegetación Zonal	Insectos	Depredación	Flora y vegetación Zonal	lepidópteros dípteros	Terrestre
		Depredación	Flora y vegetación Zonal	insectos	
		Hábitat	no aplica	Arácnidos	
	Arácnidos	Parasitismo	no aplica	Arácnidos	
		Hábitat	Flora y vegetación Zonal	Insectos	
	Insectos	Parasitismo	Flora y vegetación Zonal: lobivia formosa	parasitado por larvas de lepidoptera consumen sus frutos	
		Granivoría	Flora y vegetación Zonal	Aves granívoras	
	Avifauna	Herbivoría	Flora y vegetación Zonal	Aves acuáticas, Aves herbívoras	
	Avifauna	Depredación	Flora y vegetación Zonal	aves granívoras	
	Avifauna	Depredación	Flora y vegetación Zonal	aves acuáticas	
	Avifauna	Hábitat	no aplica	no aplica	
	Avifauna	Depredación	Flora y vegetación Zonal: adesmia spp (consumo de frutos y semillas)	attigis gayi, thinocorus sp, carduelis spp, geositta spp, phrygilus spp, sicalis spp, zonotrichia sp	

Flora y vegetación Zonal	Avifauna	Dispersión	Flora y vegetación Zonal: ephedra breana	Aves	Terrestre
	Líquenes y Hongos	mutualismo	Flora y vegetación Zonal	Líquenes y Hongos	
		Depredación		Vicuña	
		Herbivoría		Zorro	
		Depredación			
		Depredación		Vicuña	
	Macromamíferos	Depredación	Flora y vegetación Zonal: se citan varios géneros que se encuentran en el salar, no la misma especie, pero si el mismo genero	Lama guanicoe	
		Depredación	Flora y vegetación Zonal: adesmia spp, stipa spp		
	Micromamíferos	Depredación	Flora y vegetación Zonal: adesmia spp (consumo de frutos y semillas)	Abrothrix andinus	
	Precipitación	Flora y vegetación Zonal	Condición	Flora y vegetación Zonal	
Líquenes y Hongos	Suelo	Hábitat	Líquenes y Hongos	Suelo	Terrestre
Nivel acuífero	Tipo de Sustrato	Condición	Nivel acuifero	Tipo de Sustrato	Terrestre
Precipitación	Nivel acuífero	Condición	Precipitación	Nivel acuifero	Terrestre

Precipitación	Tipo de Sustrato	Condición	Precipitación	Tipo de Sustrato	Terrestre
Suelo	Flora y vegetación Azonal	Hábitat	suelo	flora azonal	Terrestre
Suelo	Flora y vegetación Zonal	Hábitat	disponibilidad de agua en el suelo	Flora y vegetación Zonal	Terrestre
Suelo	Flora y vegetación Zonal	Hábitat	suelo	Flora y vegetación Zonal	Terrestre
Topografía	Escorrentía	Condición	Elevación	Flujo	Terrestre

Fuente: Elaboración Propia

Esta matriz de interacciones fue analizada mediante la plataforma de computo R, usando la librería i-graph. La siguiente figura entrega la salida gráfica correspondiente al Modelo Conceptual Ecológico de la cuenca del Salar de Atacama. Esta fue generada mediante software de diseño grafico a fin de permitir la representación detallada de los distintos tipos de componentes, e interacciones. Se ilustran en triangulos blancos y gris oscuro aquellos subcomponentes correspondientes al clima y geología respectivamente. A su vez, los componentes hidrogeológicos e hidrológicos se representan mediante cuadrados blancos y de color gris oscuro respctivamente.

Los líquenes y hongos son representados mediante un triangulo de color gris claro. Los componentes de vegetación son representados mediante cuadrados de color gris claro, mientras que los componentes de Fauna y Ecosistemas acuáticos son representados mediante círculos negros y de color gris claro respectivamente. Por último, se representan los subcomponentes asociados al ser humano mediante círculos de color blanco (Figura 6-32)

Por otra parte, los efectos de variables o factores abióticos se representan mediante líneas rectas y líneas rectas con angulos rectos. El sentido o dirección del efecto se representa mediante flechas, de manera que los efectos o relaciones recíprocas se ve representado por enlaces con flechas a ambos extremos, mientras que los efectos o relaciones unidireccionales o en un sentido solo presentan flechas en el extremo en el cual se recibe o impacta la relación. En el caso de la calidad de agua y los subcomponentes de ecosistemas acuáticos, la gran densidad de interacciones o efectos dificultan su representación clara. Por ello se muestran estos subcomponentes encerrados en un rectángulo con esquinas redondeadas y línea discontinua. Este símbolo indica que existen componentes que presentan una gran cantidad de interacciones, las que se ilustran de manera resumida. Se detallan tanto los componentes como las interacciones en la Figura 6-33.

En esta figura, los componentes pueden estar relacionados por un proceso de traspaso de materia y energía o bien por una interacción biológica y uso de hábitat, o por el impacto de una condición sobre un subcomponente. Como se aprecia en la figura, se han distribuido los subcomponentes de manera de ilustrar los subcomponentes abióticos y antrópicos principalmente en el sector izquierdo de la figura, mientras que el sector central y derecho concentra los nodos correspondientes a subcomponentes bióticos. En particular, el sector central inferior reúne los nodos

correspondientes a ecosistemas acuáticos, mientras que las secciones restantes corresponden a nodos de ambientes terrestres.

Así, en la Figura 6-33 se aprecia como el inserto superior detalla las complejas interrelaciones entre las distintas variables que describen la calidad de agua. Se detalla además la relación de los componentes de ecosistemas acuáticos con niveles tróficos superiores como lo son anfibios y aves acuáticas. Para esta figura los símbolos para los subcomponentes y enlaces son los mismos empleados anteriormente (ver Figura 6-32). Un aspecto clave es el hecho que las variables de calidad de agua son las que median la distribución y abundancia de las especies de flora y fauna de ecosistemas acuáticos. En ese respecto, el impacto de modificaciones o variaciones en el nivel de las lagunas (o escorrentía en esteros u arroyos) es un factor causal que altera la calidad del agua, y es esta a su vez la que determina el impacto del ambiente abiótico sobre las especies acuáticas. Esto a su vez incide en la productividad de dichos sistemas y por ende en la oferta alimenticia para las aves acuáticas, entre las que se destacan las tres especies de flamenco presentes en la Cuenca del Salar de Atacama.

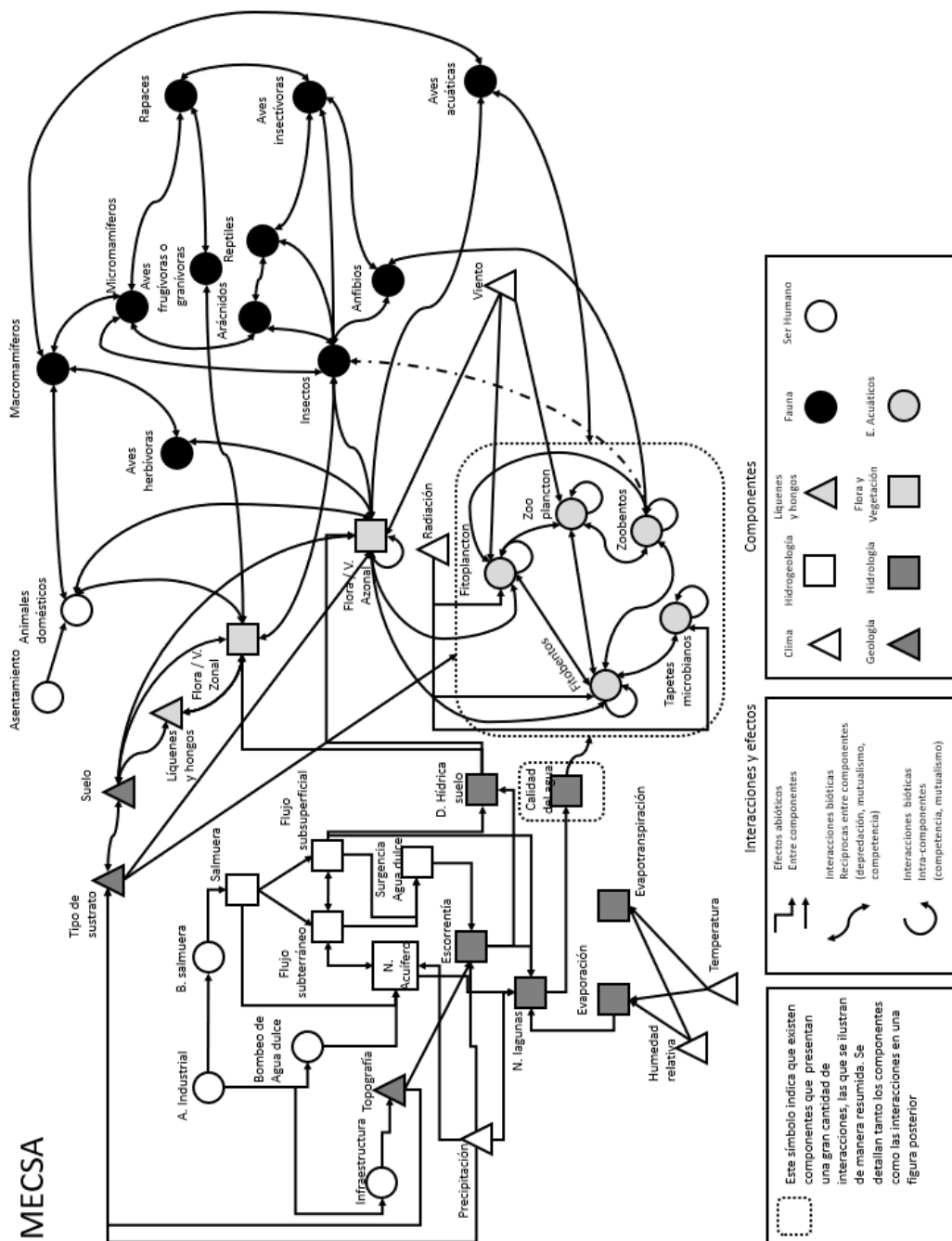


Figura 6-32: Salida gráfica del Modelo Ecológico Conceptual de la Cuenca del Salar de Atacama (MECSA)

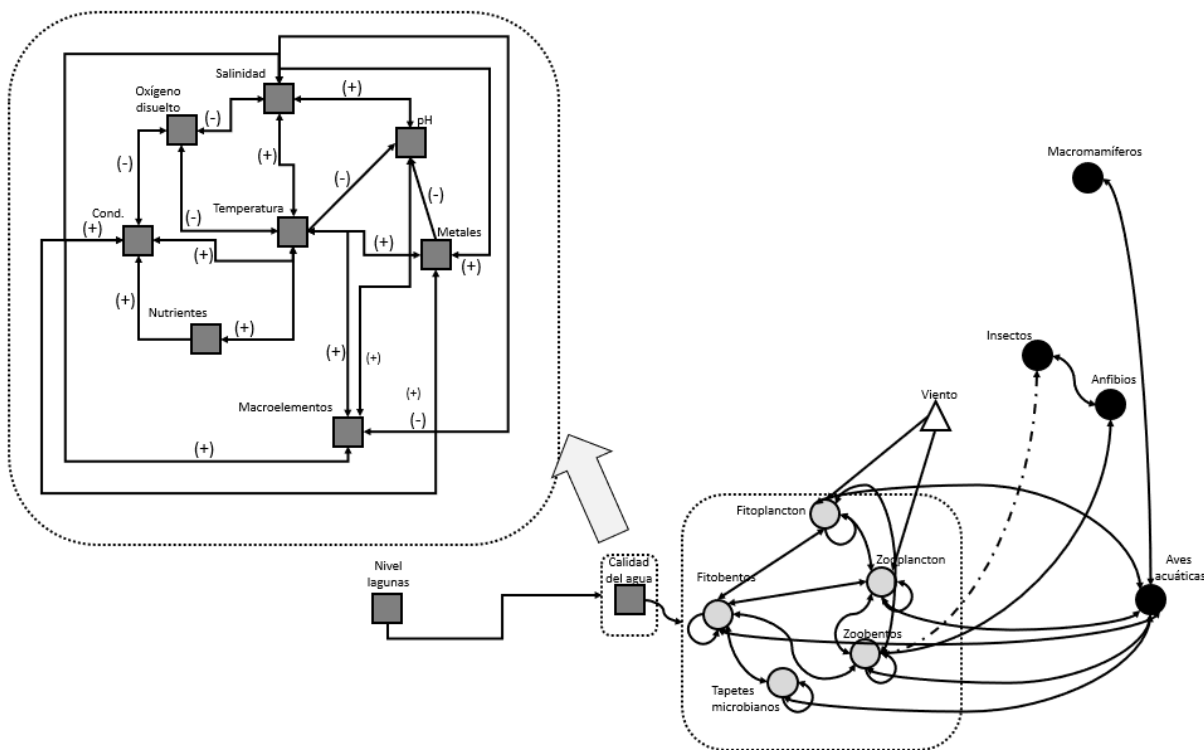


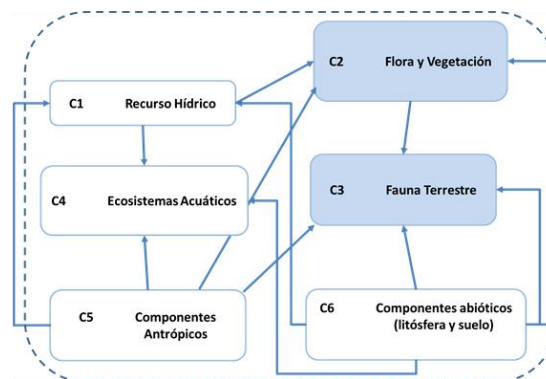
Figura 6-33: Acercamiento a la salida gráfica del modelo conceptual, que permite mostrar en mayor detalle las interacciones de los subcomponentes de ecosistemas acuáticos.

Cabe destacar que la elaboración de este mapa conceptual refleja un proceso iterativo y gradual de recopilación de antecedentes y elaboración de la información. La Figura 6-34 ilustra cuatro etapas intermedias en el proceso de desarrollo del modelo conceptual.

a)

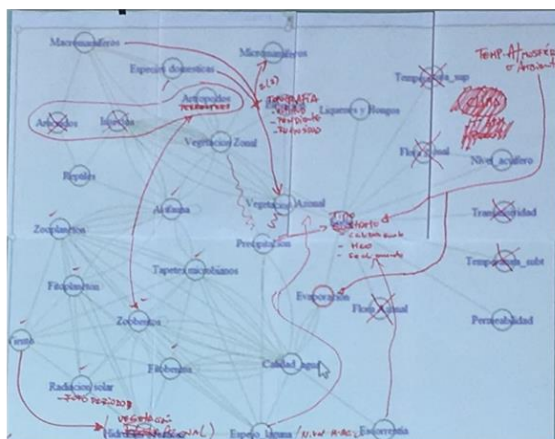


b)



115

c)



d)

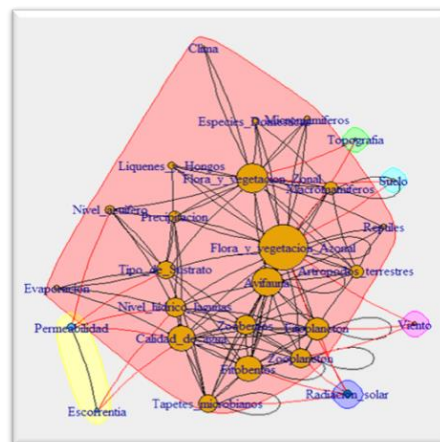


Figura 6-34: Etapas de desarrollo del Modelo ecológico conceptual.

Se ilustran: a) La etapa inicial de desarrollo, comprendida por el taller de expertos en que se indicaron los primeros componentes y subcomponentes; b) Representación gráfica de las relaciones entre primeros componentes identificados en panel de expertos; c) Ejemplo de matriz de interacciones y el trabajo participativo entre expertos; d) Ejemplo de análisis de grafo del modelo ecológico conceptual. El tamaño indica aquellos nodos con mayor número de interacciones y se somborean en zonas de distinto color aquellos nodos que comparten una vecindad de interacciones, definiendo módulos

6.4 Reconocimiento de los principales procesos ecológicos presentes en el salar de Atacama; dimensiones temporales y espaciales

Tal como se mencionó en la sección de metodología, se revisó la literatura para identificar los principales procesos ecológicos presentes en el salar de Atacama. En ese contexto, se analizaron procesos climáticos, al igual que procesos de uso de hábitat y desplazamiento de vertebrados, particularmente micro y macro mamíferos, al igual que del Surí y los flamencos. Estos últimos fueron analizados en particular, atendiendo a su importancia como especies carismáticas y que han sido objeto de estudios y monitoreo en el tiempo. Por ello, se analizó la biología y ecología de flamencos, considerando las tres especies descritas para el salar. En base a estos antecedentes se han identificado las escalas de espacio y tiempo más frecuentes para algunos de los principales procesos ecológicos asociados a especies o sistemas sensibles de la cuenca del Salar de Atacama. En el caso de las tres especies de flamenco, los procesos considerados corresponden a la alimentación, movimiento en el ámbito de hogar, nidificación y migración. Lamentablemente no se pudo recabar información detallada para las otras especies de aves presentes en el Salar, o para reptiles. En base a la información de literatura para grandes grupos en otros ecosistemas, se infirieron las escalas correspondientes para las especies como un grupo.

116

Además, se analizó información correspondiente a la variación temporal de los polígonos de análisis de cobertura de vegetación azonal para los sectores de Tilopozo y Peine. En la Figura 6-35 se ilustra la cobertura de estos polígonos. Cabe destacar que no se encontraron antecedentes que permitieran caracterizar interacciones biológicas al interior de la cuenca del Salar de Atacama desde el punto de vista de sus escalas características de espacio y tiempo. Así, procesos clave como la polinización no pudieron ser incluidos en este análisis por falta de antecedentes en la literatura.

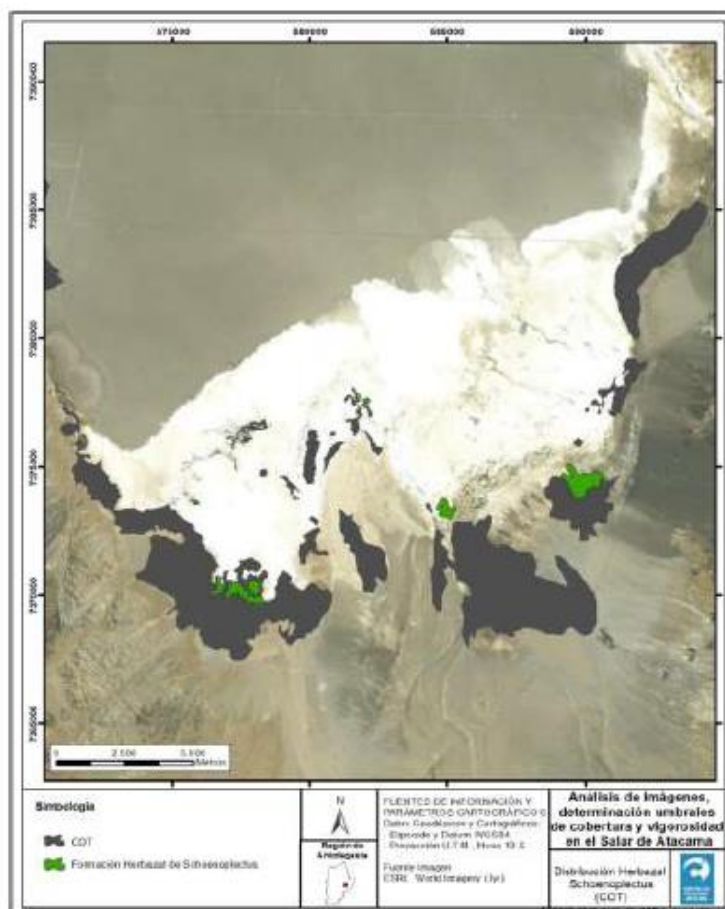
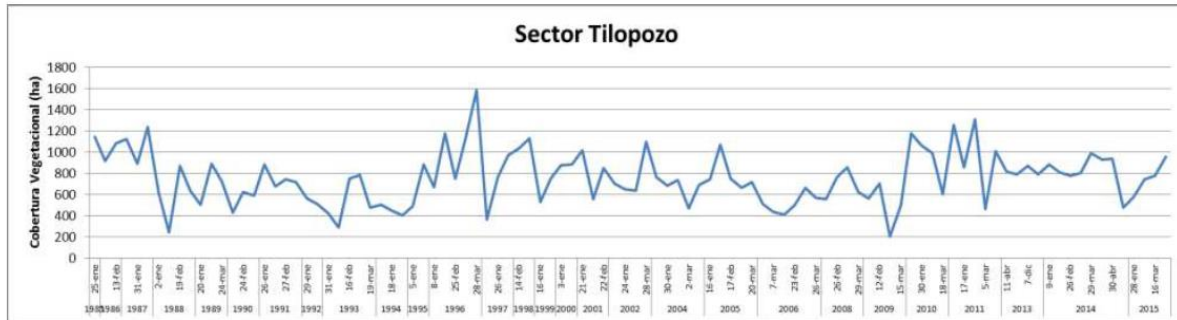


Figura 6-35: Polígonos de análisis de cobertura de vegetación azonal para los sectores de Tilopozo y Peine.
Fuente: Rockwood Lithium Ltda, 2015

Utilizando las gráficas entregadas por CEA consultores en el plan de seguimiento biótico de Rockwood S.A. se obtuvieron series de tiempo de cobertura de los sistemas vegetacionales, expresándolas como medias anuales. En la Figura 6-36 se ilustra la serie de cobertura original para el sector de Vegas de Tilopozo, de acuerdo a los datos reportados por el consultor.



Fuente: Elaboración propia sobre información del Plan de Manejo Biótico, Rockwood Lithium

Figura 6-36: Serie de tiempo indicando la variación temporal en la cobertura de vegetación azonal en el sector de Tilopozo. (Fuente: Elaboración propia sobre información del Plan de Manejo Biótico, Rockwood Lithium).

Esta información fue digitalizada y promediada a escala anual, permitiendo contar con una serie de tiempo de resolución e intervalo de muestreo regular, eliminando sesgos debidos a a diferencia en número de imágenes satelitales por año en cada una de las fechas o temporadas. La serie de tiempo de cobertura media anual para el sector de Tilopozo se ilustra en la Figura 6-37

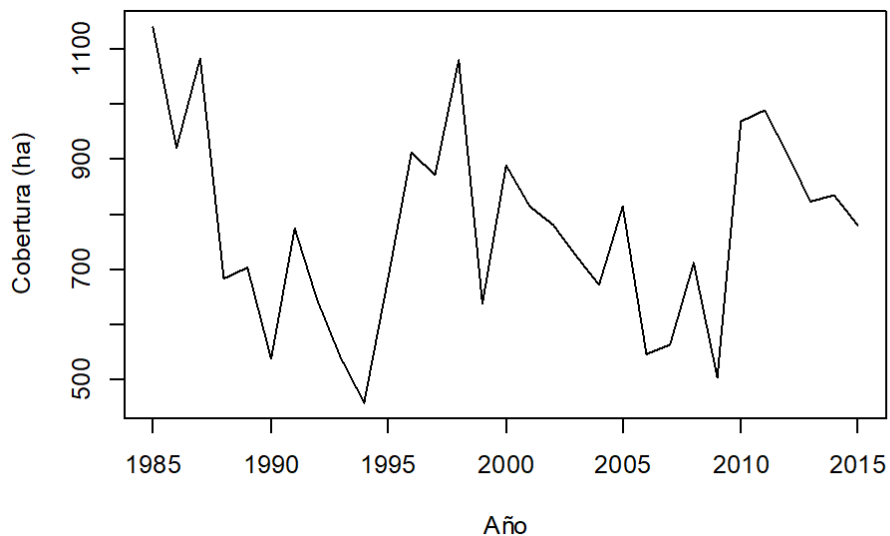
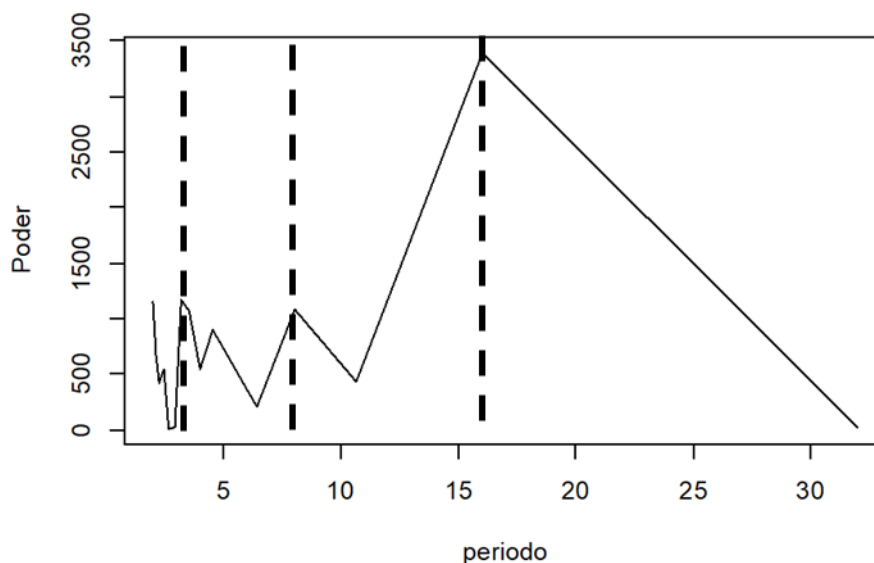


Figura 6-37: Serie de tiempo indicando la variación anual en la cobertura promedio de vegetación azonal en el sector de Tilopozo. (Fuente: Elaboración propia sobre información del Plan de Manejo Biótico, Rockwood Lithium).

Una vez estandarizado el intervalo de muestreo, se procedió a realizar un análisis espectral o de frecuencias, que permite identificar las periodicidades que dan cuenta de la variación temporal observada. La Figura 6-38 ilustra los resultados del análisis espectral para la variación interanual en la cobertura de vegetación del sector vegas de Tilopozo.



119

Figura 6-38: Análisis espectral para la serie de tiempo de cobertura promedio anual de vegetación azonal en el sector de Tilopozo. (Fuente: Elaboración propia sobre información del Plan de Manejo Biótico, Rockwood Lithium).

El análisis espectral presenta máximos en los periodos de 3, 8 y 16 años, lo que indica que estas son escalas de variación dominantes en la serie de tiempo de cobertura de vegetación. Esto significa que la variación observada en la cobertura de las Vegas de Tilopozo presenta una escala temporal de entre 8 y 16 años. El análisis de datos empíricos del Índice de Oscilación del Sur (SOI), al igual que otros indicadores climáticos como el Índice de Anomalía del Pacífico Norte y el Índice de Anomalía de la Temperatura de la Superficie del Mar del El Evento El Niño-Oscilación Sur (ENOS) han demostrado la existencia de ciclos climáticos a largo y corto plazo del proceso ENOS con frecuencias de resonancia de 2,5 años, 3,8 años, 5 años, 12 a 14 años, 61 a 75 años y 180 años (Bruun et al. 2017).

Por ello, la frecuencia identificada entre 8 y 16 años para la cobertura vegetal en el sector de las Vegas de Tilopozo coherente con un forzamiento ambiental por eventos asociados al fenómeno de El Niño – Oscilación Sur S.

Dada esta variación temporal, se procedió a extraer la cobertura promedio para esta formación vegetacional, que permitió contar con un estimado para la escala espacial característica. Esta ronda los 2,76 km en extensión lineal. Esto indicó que los sistemas vegetacionales presentan escalas de variación importantes a la escala estacional y a escalas de entre 11 y 16 años, ilustrando dos importantes escalas de variabilidad intra e interanual que son consistentes con el forzamiento ambiental asociado a la incidencia de eventos ENOS. Este patrón de variación temporal se asoció con las coberturas mínimas y máximas de cada uno de los sistemas, lo que permitió estimar el rango de escalas características para estos sistemas.

120

Dada la importancia del forzamiento climático para el ecosistema del Salar de Atacama, se repitió el mismo análisis con la información disponible para la precipitación. Nuevamente, se digitalizó información de series de tiempo, en este caso, la serie temporal de precipitación estival acumulada para la estación meteorológica de Peine (DGA, código 02500002-K). Una vez digitalizada, esta serie de tiempo se sometió al mismo análisis de frecuencias.

La siguiente figura se ilustra la serie de tiempo original para la estación meteorológica de Peine (DGA, código 02500002-K). (Figura 6-39)

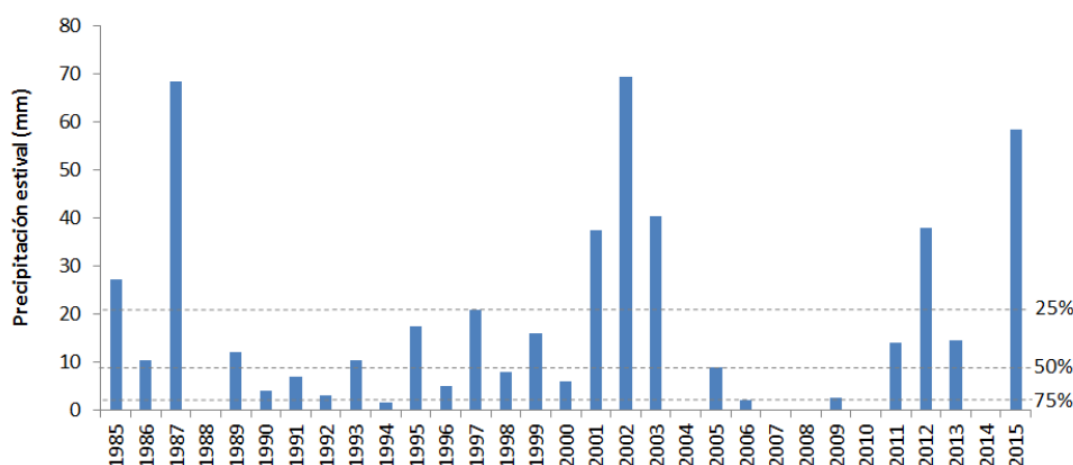
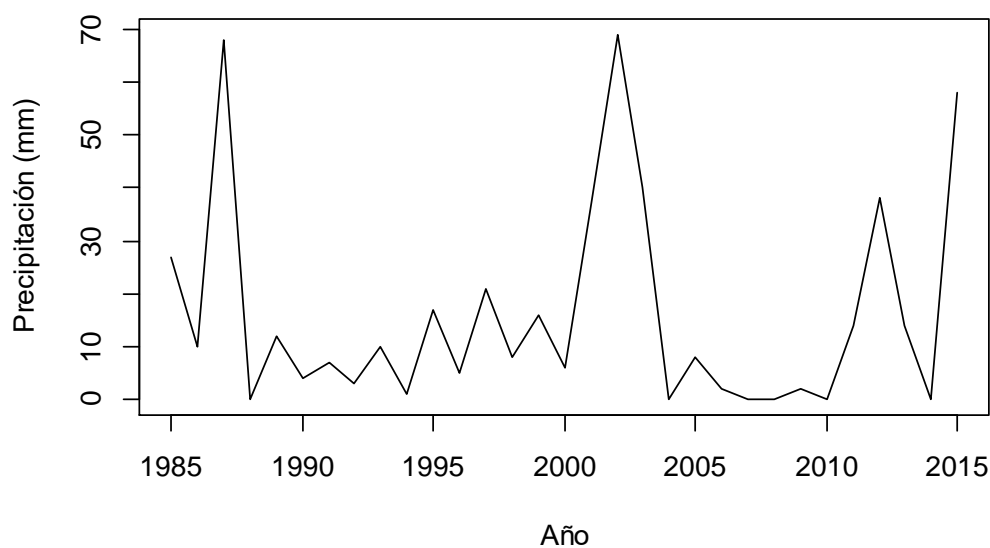


Figura 6-39: Serie temporal de precipitación estival acumulada para la estación meteorológica de Peine (DGA, código 02500002-K). Fuente: Plan de Manejo Biótico, Rockwood Lithium

En la siguiente figura se ilustra la serie de tiempo media anual para la precipitación estival acumulada en Peine:

Precipitación estival acumulada

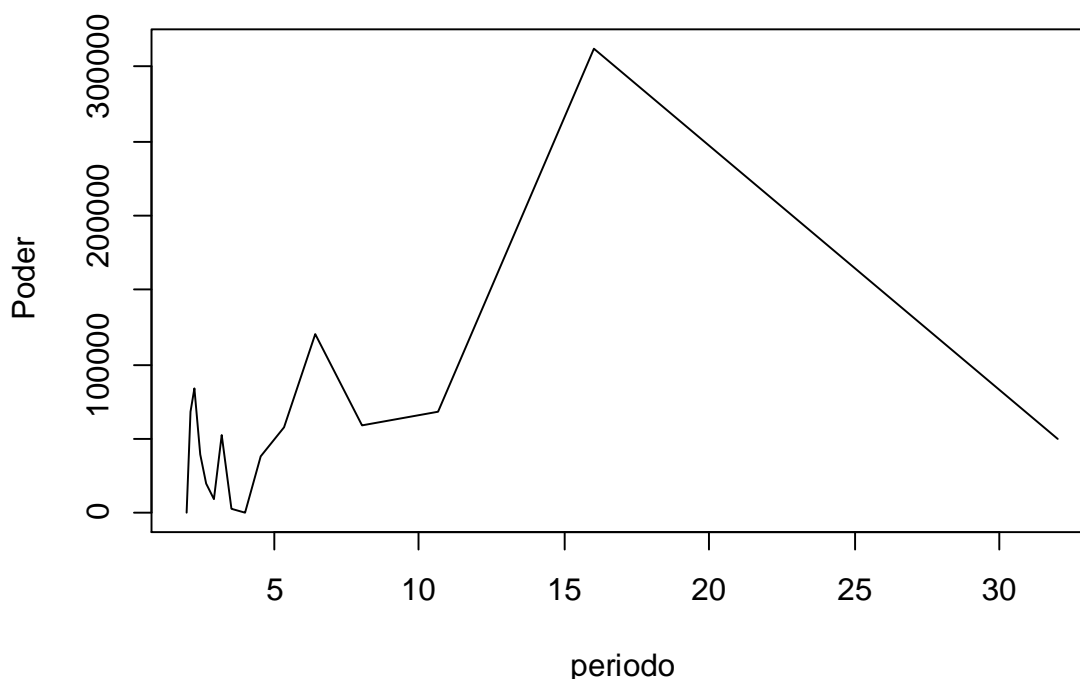


121

Figura 6-40: Serie temporal de precipitación estival acumulada digitalizada. Datos correspondientes a la estación meteorológica de Peine (DGA, código 02500002-K). Fuente: Plan de Manejo Biótico, Rockwood Lithium

Una vez obtenida la serie de tiempo anual de precipitaciones estivales, se procedió a su análisis. De esa forma, se identificaron los periodos de variación que tiene la precipitación estival acumulada en Peine, los que se ilustran en la Figura 6-41.

Precipitación estival acumulada



122

Figura 6-41: Análisis de frecuencia de la serie temporal de precipitación estival acumulada digitalizada. Datos correspondientes a la estación meteorológica de Peine (DGA, código 02500002-K). Fuente: Elaboración propia sobre información del Plan de Manejo Biótico, Rockwood Lithium

De manera similar a lo observado para la variación en la cobertura vegetal, la precipitación acumulada presentó un patrón de variación con escalas intra e interanuales. De esta forma, se aprecia un máximo global de la varianza o poder espectral para el periodo 16 años, mientras que el siguiente máximo de varianza o poder espectral se aprecia para los 7 años (Figura 6-41). Ambos máximos sugieren la impronta de procesos climáticos modulados por el fenómeno El Niño -Oscilación sur. La discrepancia en el valor exacto de periodicidad observado puede reflejar sesgos debidos a la longitud de la serie de tiempo analizada.

En base a la información recabada en literatura y los antecedentes analizados anteriormente, se procedió a representar de forma gráfica las escalas características en un diagrama de Stommel para el Salar de Atacama. Este se entrega en la Figura 6-42

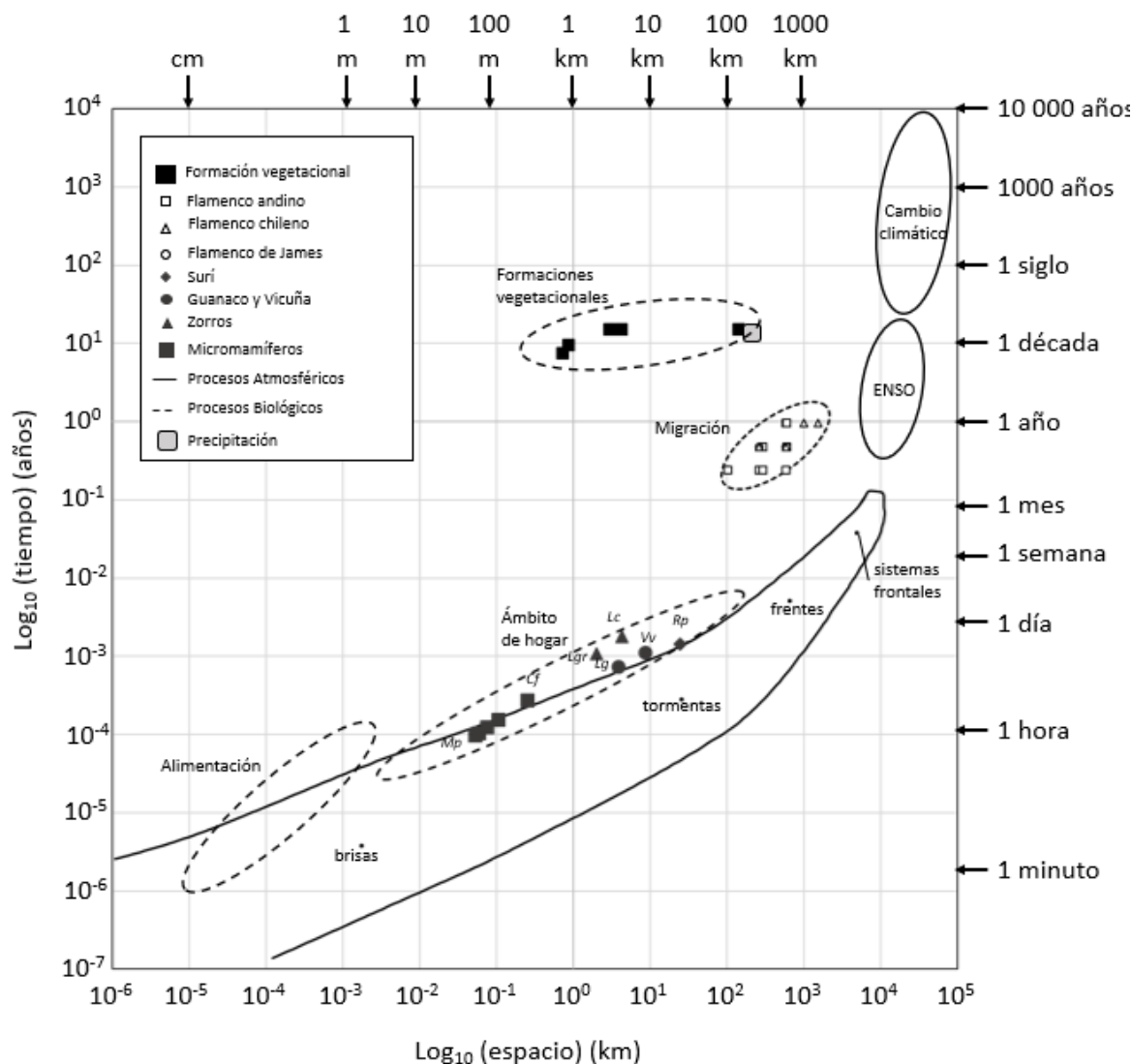


Figura 6-42: Diagrama de Stommel que resume las escalas de tiempo y espacio de los procesos del Salar de Atacama y su relación con algunos de los procesos presentes en el Salar

El Diagrama de Stommel resume la información correspondiente a las escalas de espacio y tiempo correspondientes a los principales procesos de la Cuenca del Salar de Atacama. En esta figura se aprecia que los fenómenos atmosféricos corresponden a un conjunto de procesos que abarcan un rango de escalas, desde las brisas de viento que poseen escalas características de centímetros y minutos, pasando por fenómenos meteorológicos como las tormentas, frentes o sistemas frontales, que presentan mayores extensiones de espacio y tiempo. A su vez, se aprecia que los fenómenos como el Evento el Niño-Oscilación Sur y el cambio climático abarcan escalas continentales y escalas de tiempo superiores a la década y el siglo respectivamente.

Por otra parte, se ilustran las escalas de tiempo y espacio característico para la alimentación o forrajeo de fauna como micromamíferos y aves, las que se representan mediante una elipse con línea discontinua en el sector inferior izquierdo del gráfico. Al examinar el ámbito de hogar, se observa que las especies de micromamíferos del Salar de Atacama tienen escalas de ámbito de hogar en el orden de decenas a centenas de metros, mientras que el Guanaco y la Vicuña presentan ámbitos de hogar en la escala de decenas de kilómetros. Esto es superado por el Surí, que presenta una mayor extensión tanto espacial como temporal. En lo que respecta a los carnívoros, ambas especies de Zorro presentan escalas del orden de decenas de kilómetros, con escalas de movimiento aproximadas del orden de un día.

En lo que respecta a las escalas de tiempo y espacio asociadas a la migración de las tres especies de flamenco, la propuesta de desplazamiento subcontinental de Parada (1990) y Rodríguez Ramírez et al (1991) consigna escalas de centenas de kilómetros y estacionales o anuales para el proceso de desplazamiento de estas especies desde las lagunas de la puna a sistemas lagunares de menor altura en el continente Sudamericano. Estas escalas espaciales concuerdan con el límite espacial de la cuenca, que se representa mediante un cuadrado gris de vértices redondeados, que ilustra la extensión de la cuenca del Salar de Atacama, y la escala de variación temporal dominante de la precipitación en la estación de Peine, correspondientes a la escala de forzamiento por el Evento El Niño – Oscilación Sur. Estas escalas temporales corresponden a las escalas imputadas a los sistemas vegetacionales, que van desde los bofedales y vegetación riparina, con extensiones lineales promedio-menores a 800 metros, mientras que las mas extensas corresponden a las vegas y matorrales, con extensiones lineales promedio de 2,7 km y 132 km respectivamente.

Estos resultados ilustran el hecho que la extensión de las formaciones vegetacionales reflejan fuertemente el forzamiento ambiental por parte de fenómenos climáticos asociados al Evento El Niño – Oscilación Sur. Sin embargo, este análisis no considera la información correspondiente a las escalas espaciales de los principales tipos de suelo o la dinámica hidrogeológica a lo largo de la cuenca del Salar de Atacama, información que puede ser relevante para comprender en su totalidad los factores que limitan la distribución de las formaciones vegetacionales.

En la Figura 6-42 se ilustra el diagrama de Stommel que resume las escalas de tiempo y espacio de los procesos del Salar de Atacama y su relación con algunos de los procesos presentes en el Salar. A modo de ejemplo, se destaca la información correspondiente a los Flamencos. Estas tres especies tienen procesos de alimentación que abarcan las escalas circadianas, y en una radio del orden de metros. A una mayor escala, el desplazamiento en el ámbito de hogar puede permitir a los individuos recorrer ya sea un mismo sistema lacustre o visitar más de un sistema. A mayores escalas de tiempo y espacio, esta especie realiza desplazamientos migratorios estacionales, a la escala de la masa continental sudamericana. De esta forma, se aprecia que existe un acoplamiento entre distintas escalas espaciales y temporales. Por otra parte, en el caso de la Vegetación Azonal, se aprecian escalas de variación estacionales e interanuales, que acoplan secciones acotadas del Salar de Atacama.



6.5 Análisis de los principales gradientes presentes en el Salar de Atacama, en base a la información disponible en los antecedentes recabados

6.5.1 Definición de Unidades Vegetacionales

125

La información entregada como resultado de los procesos antes descritos debe ser tomada de manera referencial y solo espacialmente. Debido a que la integración se realiza con información de distintas fuentes y escalas, no se pueden asignar superficies asociadas a unidades vegetacionales a nivel de cuenca, pues se puede incurrir en una subestimación.

Al no tratarse de información recabada en terreno por el equipo profesional de esta propuesta, puede contar con sesgos y limitaciones desconocidas. Y, sumado a lo anterior, las unidades identificadas carecen de validaciones espaciales, toda vez que no se consideran mediciones in situ para esta etapa, ni para las subsecuentes de este proyecto.

La definición de unidades vegetacionales se puede visualizar en la Figura 6-43:

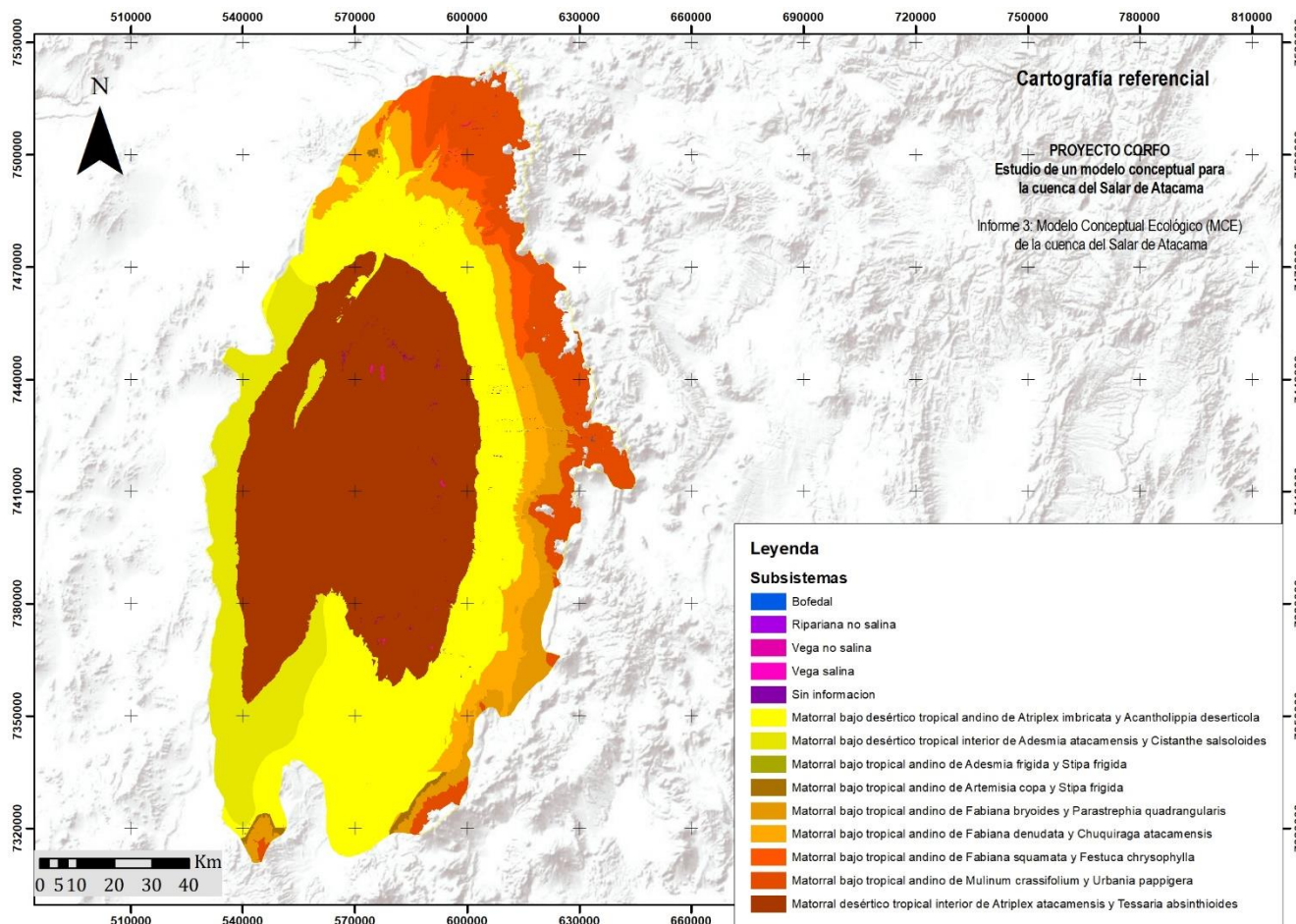


Figura 6-43: Definición de Unidades Vegetacionales

6.5.2 Elaboración de mapa de Riqueza de Flora

La Figura 6-44 corresponde al mapa de riqueza florística representada mediante estimación de riqueza florística (número de especies) espacializada. Esto es que a partir de la base de datos disponible a escala de cuenca, se infiere el valor de los píxeles sin datos mediante interpolación geoestadística, cuyo proceso metodológico se ha especificado en el acápite 5.7.2.

127

Los resultados indican valores de píxeles que fluctúan entre 0,2 a 173 especies, a los cuales se les asocia una paleta de color que va desde el verde (valores bajos), amarillos (valores medios) y rojos (valores altos).

La información entregada como resultado de los procesos antes descritos debe ser tomada de manera referencial. Esto debido a que la fuente de información se compone sólo de presencias, y no de ausencias. Son muy pocas las fuentes de información que en su desarrollo consideran en su diseño muestral el registro de la ausencia de los individuos de estudios. De estos, son aún menos los que publican esta información. Por lo tanto, el mapa generado sólo entrega información directa respecto de espacios más muestreados, pero no se permite asumir la ausencia de especies en los espacios con valores más bajos de riqueza.

Al no tratarse de información recabada en terreno por el equipo profesional de esta propuesta, puede contar con sesgos y otras limitaciones desconocidas. Y, sumado a lo anterior, las presencias utilizadas carecen de validaciones espaciales, toda vez que no se consideran mediciones *in situ* para esta etapa, ni para las subsecuentes de este proyecto.

Sobre la base de lo anteriormente expuesto, es relevante advertir que, el mapa resultante es el resultante de datos escasos y espacialmente sesgado, por lo que la primera y más importante conclusión es que se requiere un muestreo intensivo de parámetros composicionales y estructurales del componente, priorizando aquellas áreas con datos inexistentes o escasos. Ahora como segunda derivada, se puede concluir con los datos disponibles, que existe un patrón evidente que indica mayores valores de riqueza al borde de caminos principales y/o humedales

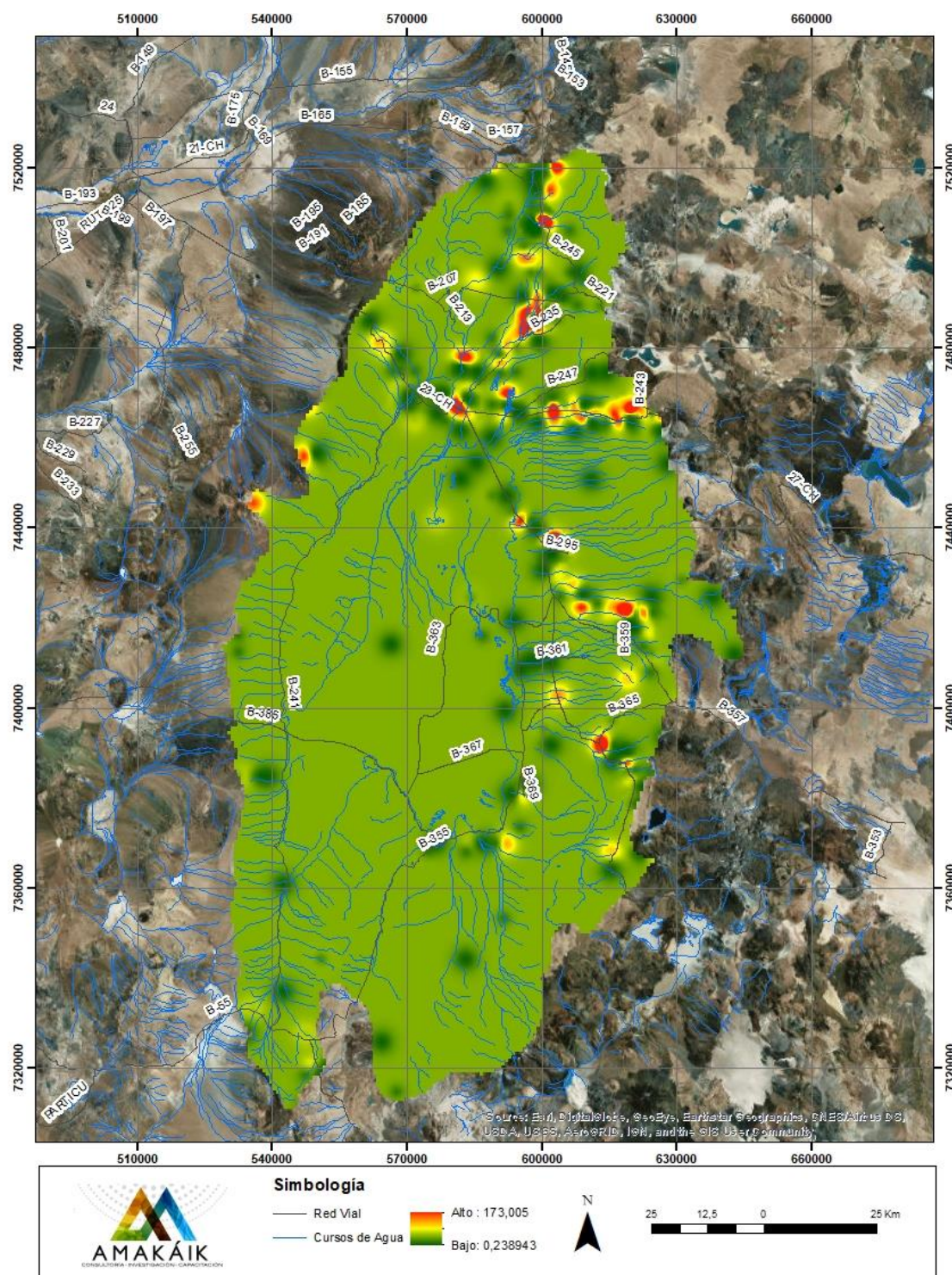


Figura 6-44: Mapa de Riqueza de Flora

6.6 Análisis de sensibilidad de humedales u otros subsistemas complejos

Para realizar la valoración y jerarquización de las amenazas se procedió a identificar los principales objetos de conservación, entendidos como los ambientes sensibles. En los ecosistemas acuáticos estos correspondieron a los siguientes subsistemas o especies:

129

1. Lagos someros salinos: Corresponden a los subsistemas de Soncor, Aguas de Quelana y Tilopozo.
2. Afloramientos o vertientes: Corresponden a los afloramientos o cursos de agua que alimentan los subsistemas de lagunas someras salinas.
3. Comunidades acuáticas salinas e hipersalinas: Corresponden a las especies de fito y zoopláncton presentes en los sistemas acuáticos salinos e hiper salinos.
4. Comunidades acuáticas dulce-salobres: Corresponden a las especies de fito y zooplancton presentes en los sistemas acuáticos dulce-salobres.
5. Bofedales y Vegas: Corresponden a las formaciones vegetacionales azonales presentes en bofedales y vegas.
6. Matorrales: Corresponden a formaciones vegetacionales zonales incluyendo el Matorral bajo desertico tropical andino de *Atriplex imbricata* y *Acantholippia deserticola*, el Matorral bajo desertico tropical interior de *Adesmia atacamensis* y *Cistanthe salsoloides* y el Matorral bajo tropical andino de *Adesmia frigida* y *Stipa frigida*
7. Nivel Hídrico/Calidad del Agua/Agua Subterránea: Corresponde al subsistema hidrogeológico e hidrológico que caracteriza el flujo de salmuera y agua dulce-salobre a lo largo de la Cuenca del Salar de Atacama
8. Poblaciones de Flamencos
9. *Heleobia atacamensis*: Corresponde a la especie *Heleobia atacamensis*, con categoría de conservación.

Las

Tabla 6-29 a Tabla 6-38 indican las amenazas identificadas y su jerarquización para los distintos subsistemas: (no esta bien el número ni tampoco se a que tabla se refiere).

Tabla 6-29: Resumen de análisis de sensibilidad para los principales subsistemas de Lagos someros salinos que corresponden a los subsistemas de Soncor, Aguas de Quelana y Tiloposo

Objetivo de Conservación <i>Amenazas (Threats)</i>	Lagos someros salinos				
	<i>Alcance</i>	<i>Severidad</i>	<i>Irreversabilidad</i>	<i>Magnitud</i>	<i>Clasificación</i>
Extracción de salmuera	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Extracción agua acuífero dulce	Muy alta	Muy alta	Alta	Muy alta	Muy alta
Construcción de caminos e infraestructura	Media	Baja	Media	Baja	Baja
Cambio climático	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Tráfico y movilización de materiales	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Extracción de vegetación leñosa del salar	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Ampliación Zona de acopio de sales en el salar	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Turismo no controlado	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Sobrepastoreo	Media	Media	Media	Media	Media
Especies invasoras				-	-
Desestabilización del sustrato	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja

130

En el caso de los lagos someros salinos, se evidencia que las amenazas mas importantes corresponden a la extracción de salmuera y agua del acuífero dulce, sumado a los potenciales impactos del cambio climático. En el caso de los afloramientos de agua, este último factor, junto con la alteración de patrones de escorrentía por parte de las construcciones de caminos e infraestructura se ven relevados como las principales amenazas (Tabla 6-29)

Tabla 6-30: Resumen de análisis de sensibilidad para los Afloramientos o vertientes de agua salobre presentes en el Salar de Atacama

Objetivo de Conservación <i>Amenazas (Threats)</i>	Afloramientos				
	<i>Alcance</i>	<i>Severidad</i>	<i>Irreversabilidad</i>	<i>Magnitud</i>	<i>Clasificación</i>
Extracción de salmuera					-
Extracción agua acuífero dulce					-
Construcción de caminos e infraestructura	Alta	Alta	Muy alta	Alta	Muy alta
Cambio climático	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Tráfico y movilización de materiales	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Extracción de vegetación leñosa del salar					-
Ampliación Zona de acopio de sales en el salar					-
Turismo no controlado	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Sobrepastoreo	Baja	Baja	Media	Baja	Baja
Especies invasoras					-
Desestabilización del sustrato	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja

En el caso de los afloramientos de agua salobre, se aprecia que las amenazas más importantes corresponden a la construcción de caminos e infraestructura, sumado a los potenciales impactos del cambio climático. (Tabla 6-30)

En lo que respecta a las comunidades acuáticas salinas e hipersalinas, se resaltan la importancia de las especies invasoras, seguida de la extracción de salmuera, el cambio climático y la desestabilización del sustrato. Esto contrasta con las comunidades acuáticas dulce-salobres, en las que el cambio climático, la extracción de agua del acuífero dulce y la alteración de patrones de escorrentía son las principales amenazas (Tabla 6-31)

131

Tabla 6-31: Resumen de análisis de sensibilidad para las Comunidades acuáticas salinas e hipersalinas presentes en el Salar de Atacama

Objetivo de Conservación	Comunidades acuáticas salinas e hipersalinas				
	Alcance	Severidad	Irreversibili	Magnitud	Clasificación
Extracción de salmuera	Alta	Alta	Media	Alta	Alta
Extracción agua acuífero dulce	Media	Baja	Baja	Baja	Baja
Construcción de caminos e infraestructura	Media	Baja	Media	Baja	Baja
Cambio climático	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Tráfico y movilización de materiales				-	-
Extracción de vegetación leñosa del salar				-	-
Ampliación Zona de acopio de sales en el salar	Media	Alta	Media	Media	Media
Turismo no controlado	Alta	Media	Media	Media	Media
Sobrepastoreo	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Especies invasoras	Alta	Alta	Muy alta	Alta	Muy alta
Desestabilización del sustrato	Alta	Alta	Media	Alta	Alta

Se aprecia que las amenazas más importantes para las comunidades acuáticas dulce-salobres corresponden a: extracción de agua acuífero dulce, construcción de caminos e infraestructura, cambio climático y especies invasoras. Se destaca el turismo no controlado como baja amenaza (Tabla 6-32)

Tabla 6-32: Resumen de análisis de sensibilidad para las Comunidades acuáticas dulce-salobres presentes en el Salar de Atacama

Objetivo de Conservación	Comunidades acuáticas dulce-salobre				
Amenazas (<i>Threats</i>)	Alcance	Severidad	Irreversabili	Magnitud	Clasificación
Extracción de salmuera					-
Extracción agua acuífero dulce	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Construcción de caminos e infraestructura	Alta	Alta	Muy alta	Alta	Muy alta
Cambio climático	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Tráfico y movilización de materiales					-
Extracción de vegetación leñosa del salar					-
Ampliación Zona de acopio de sales en el salar					-
Turismo no controlado	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Sobrepastoreo	Media	Media	Baja	Media	Baja
Especies invasoras	Alta	Alta	Muy alta	Alta	Muy alta
Desestabilización del sustrato	Media	Media	Baja	Media	Baja

132

Por otra parte, para las formaciones vegetacionales de bofedales y vegas se identificó la extracción de salmuera y agua del acuífero dulce como las principales amenazas, seguidas del cambio climático mientras que, en los matorrales, se identifican niveles medios o bajos de amenaza (Tabla 6-33)

Tabla 6-33: Resumen de análisis de sensibilidad para los Bofedales y Vegas presentes en el Salar de Atacama

Objetivo de Conservación	Bofedales y Vegas				
Amenazas (<i>Threats</i>)	Alcance	Severidad	Irreversabili	Magnitud	Clasificación
Extracción de salmuera	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
Extracción agua acuífero dulce	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta
Construcción de caminos e infraestructura	Alta	Alta	Baja	Alta	Media
Cambio climático	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Tráfico y movilización de materiales	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Extracción de vegetación leñosa del salar				-	-
Ampliación Zona de acopio de sales en el salar				-	-
Turismo no controlado				-	-
Sobrepastoreo				-	-
Especies invasoras				-	-
Desestabilización del sustrato	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja

Para matorrales, se evidencia que construcción de caminos e infraestructura, sumado a los potenciales impactos del cambio climático se presentan como amenazas en los aspectos de severidad e irreversibilidad (Tabla 6-34)

Tabla 6-34: Resumen de análisis de sensibilidad para los Matorrales presentes en el Salar de Atacama

Objetivo de Conservación	Matorrales				
	Alcance	Severidad	Irreversabili	Magnitud	Clasificación
Extracción de salmuera				-	-
Extracción agua acuífero dulce				-	-
Construcción de caminos e infraestructura	Baja	Muy alta	Alta	Baja	Baja
Cambio climático	Baja	Muy alta	Alta	Baja	Baja
Tráfico y movilización de materiales	Baja	Baja	Alta	Media	Media
Extracción de vegetación leñosa del salar	Alta	Media	Media	Media	Media
Ampliación Zona de acopio de sales en el salar	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Turismo no controlado	Media	Alta	Baja	Media	Baja
Sobrepastoreo	Media	Media	Baja	Media	Baja
Especies invasoras				-	-
Desestabilización del sustrato				-	-

En el caso de los los subsistemas hidrogeológicos e hidrológicos, se identifica un gran número de amenazas, incluyendo las antes mencionadas, a las que se suman la ampliación de la zona de acopio de sales y la desestabilización del sustrato (Tabla 6-35)

Tabla 6-35: Resumen de análisis de sensibilidad para los subsistemas hidrogeológicos e hidrológicos presentes en el Salar de Atacama

Objetivo de Conservación	Nivel Hídrico/Calidad del Agua/Agua Subterránea				
	Alcance	Severidad	Irreversibili	Magnitud	Clasificación
Amenazas (Threats)					
Extracción de salmuera	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Extracción agua acuífero dulce	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Construcción de caminos e infraestructura	Media	Media	Baja	Media	Baja
Cambio climático	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Tráfico y movilización de materiales	Media	Media	Baja	Media	Baja
Extracción de vegetación leñosa del salar				-	-
Ampliación Zona de acopio de sales en el salar	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Turismo no controlado	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Sobrepastoreo	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Especies invasoras				-	-
Desestabilización del sustrato	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

134

Para las poblaciones de flamencos se pueden ver que la extracción de salmuera, el cambio climático y las especies invasoras se presentan como amenazas y la ampliación de zona de acopio de sales en el salar y el turismo no controlado como amenazas altas y medias (Tabla 6-36)

Tabla 6-36: Resumen de análisis de sensibilidad para las poblaciones de Flamencos presentes en el Salar de Atacama

Objetivo de Conservación	Poblaciones de Flamencos				
	Alcance	Severidad	Irreversibilidad	Magnitud	Clasificación
Amenazas (Threats)					
Extracción de salmuera	Alta	Alta	Media	Alta	Alta
Extracción agua acuífero dulce				-	-
Construcción de caminos e infraestructura				-	-
Cambio climático	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Tráfico y movilización de materiales				-	-
Extracción de vegetación leñosa del salar				-	-
Ampliación Zona de acopio de sales en el salar	Media	Alta	Alta	Media	Media
Turismo no controlado	Alta	Alta	Media	Alta	Alta
Sobrepastoreo				-	-
Especies invasoras	Alta	Alta	Muy alta	Alta	Muy alta
Desestabilización del sustrato	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja

Para las poblaciones de flamencos, las amenazas principales son las especies invasoras, la extracción de salmuera, el cambio climático y el turismo no controlado

Finalmente, para *Heleobia atacamensis* se observa que, las amenazas principales son las especies invasoras, la extracción de salmuera, el cambio climático y la desestabilización del sustrato (Tabla 6-37)

135

Tabla 6-37: Resumen de análisis de sensibilidad para la especie *Heleobia atacamensis* presente en el Salar de Atacama

Objetivo de Conservación	<i>Heleobia atacamensis</i>				
	Alcance	Severidad	Irreversabili	Magnitud	Clasificación
Extracción de salmuera	Alta	Alta	Media	Alta	Alta
Extracción agua acuífero dulce	Media	Baja	Baja	Baja	Baja
Construcción de caminos e infraestructura	Media	Baja	Media	Baja	Baja
Cambio climático	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Tráfico y movilización de materiales				-	-
Extracción de vegetación leñosa del salar				-	-
Ampliación Zona de acopio de sales en el salar	Media	Alta	Media	Media	Media
Turismo no controlado	Alta	Media	Media	Media	Media
Sobrepastoreo				-	-
Especies invasoras	Alta	Alta	Muy alta	Alta	Muy alta
Desestabilización del sustrato	Alta	Alta	Media	Alta	Alta

El análisis conjunto de todas estas amenazas permitió identificar un alto nivel de amenaza para todos los sistemas analizados, que, con excepción de los Matorrales, presentan amenazas Altas o Muy Altas.

La Tabla 6-38 resume el análisis de clasificación de sensibilidad para los nueve subsistemas estudiados. En ella se encuentra que los subsistemas más sensibles son: comunidades acuáticas salinas e hipersalinas, comunidades acuáticas dulce salobres, bofedales y vegas, nivel hídrico/calidad de agua/agua subterránea, poblaciones de flamencos y *Heleobia atacamensis* y que su estado de amenaza es alto o muy alto ya que se encuentran con un 50% o mas de esas categorías. Por último, los subsistemas con un bajo grado de amenaza son lagos someros salinos, afloramientos y matorrales, principalmente por presentar las amenazas alto o muy alto bajo el 50% de esas categorías.

Ello indica que los sistemas de humedales y la flora y fauna relacionadas con ellos revisten particular interés en lo que respecta a la prevención, manejo y mitigación de amenazas, principalmente asociadas a la gestión del recurso hídrico en el Salar de Atacama

Tabla 6-38: Resumen de análisis de clasificación de sensibilidad para los principales subsistemas identificados en el Salar de Atacama

Amenazas	Lagos someros salinos	Afloramientos	Comunidades acuáticas salinas e hipersalinas	Comunidades acuáticas dulce-salobre	Bofedales y Vegas	Matorrales	Nivel Hídrico/Calidad del Agua/Agua Subterránea	Poblaciones de Flamencos	Heleobia atacamensis
Extracción de salmuera	Alta	-	Alta	-	Muy alta	-	Alta	Alta	Alta
Extracción agua acuífero dulce	Muy alta	-	Baja	Alta	Muy alta	-	Alta	-	Baja
Construcción de caminos e infraestructura	Baja	Muy alta	Baja	Muy alta	Media	Baja	Baja	-	Baja
Cambio climático	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Baja	Alta	Alta	Alta
Tráfico y movilización de materiales	Baja	Baja	-	-	Baja	Media	Baja	-	-
Extracción de vegetación leñosa del salar	Baja	-	-	-	-	Media	-	-	-
Ampliación Zona de acopio de sales en el s	Baja	-	Media	-	-	Baja	Alta	Media	Media
Turismo no controlado	Baja	Baja	Media	Baja	-	Baja	Baja	Alta	Media
Sobrepastoreo	Media	Baja	Baja	Baja	-	Baja	Baja	-	-
Especies invasoras	-	-	Muy alta	Muy alta	-	-	-	Muy alta	Muy alta
Desestabilización del sustrato	Baja	Baja	Alta	Baja	Baja	-	Alta	Baja	Alta
Resumen Clasificación por Objetivo	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Baja	Muy alta	Muy alta	Muy alta

7 CONCLUSIONES

En la construcción del Modelo Conceptual Ecológico de la Cuenca del Salar de Atacama se visualizó la densa conectividad entre los distintos subsistemas presentes y en estos entre los componentes bióticos y abióticos que los conforman. La mayor parte de las interacciones identificadas corresponden a interacciones de tipo trófico, correspondientes a depredación o herbivoría, principalmente. Además, se identificaron interacciones recíprocas como la polinización o la simbiosis. Se pudo observar que la aridez del entorno terrestre no impide que existan importantes e intrincadas interacciones tróficas entre los diferentes productores y consumidores presentes en el Salar. Esta misma complejidad se aprecia tanto en lo que dice relación entre los diferentes subcomponentes, como a su interacción con parámetros físicos y químicos de la calidad del agua.

137

En base a estos resultados se presentan las conclusiones por cada subsistema ecológico, para finalmente presentar las bondades del modelo desarrollado.

7.1 Subsistema flora y vegetación (azonal y zonal)

- En cuanto al componente flora y vegetación la principal brecha en términos espaciales es la carencia de información con georeferenciación explícita dentro del área de estudio. Los inventarios florísticos son escasos o inexistentes para gran parte del área encontrándose solo información disgregada en bases de datos y/o mencionada de forma anecdótica en artículos no especializados. En la literatura, no existe referencia particular a la estructura de los sistemas o subsistemas considerados, tomándose como información base literatura general que no permiten evaluar en detalle las características estructurales propias de estos sistemas. Mayor aun es la brecha que se reporta en cuanto a la temporalidad de la evaluación sobre estos componentes ya que no se disponen estudios sistemáticos en el tiempo que permitan dimensionar la variabilidad de estos sistemas impidiendo incorporar en el modelo esta información de manera detallada.
- Los subsistemas azonales presentes en la cuenca podrían ser los más afectados no solo por la disponibilidad de agua, sino también por el cambio en la concentración y/o naturaleza de las sales disueltas, ya que sin duda afectarían a la composición de especies y estructura de la vegetación.

7.2 Subsistema acuático

- El subsistema acuático se encuentra mejor delimitado, debido a que se enmarca en los espejos de agua permanentes en la cuenca del Salar de Atacama. No obstante lo anterior, los esfuerzos de muestreo por componente biológico son diferenciados y los resultados no permiten conclusiones determinísticas.
- Dentro de los resultados se destaca que en el subsistema La Punta y La Brava se ha encontrado una mayor densidad de fitobentos y fitoplancton puede significar mayor disponibilidad de alimento tanto para los

invertebrados bentónicos y plantónicos como para las aves. Sin embargo, esto no es concluyente debido a que existe un sesgo metodológico sobre este subsistema, ya que ha sido muestreado con mayor esfuerzo que otros.

- Dentro del fitoplancton, el ensamble de microalgas muestra una estructura y composición variable temporal y espacialmente. Como se señaló en los resultados, tales variaciones estarían moduladas principalmente por la alta heterogeneidad resultante de las tasas diferenciales de evaporación entre verano e invierno, lo que resulta en cambios en salinidad, contenido de oxígeno, temperatura (entre otros) en el subsistema acuático, las cuales son variables relevantes para el desarrollo de este grupo.

138

7.3 Modelo Ecológico Conceptual del Salar de Atacama

- A pesar de la relevancia del Salar de Atacama como sistema ecológico y fuente de recursos, carece de estudios a escala de cuenca acerca de información básica en los sistemas terrestres como la composición florística y la estructura de la vegetación, así como de composición faunística y su dinámica y en los sistemas acuáticos. Se desconoce las densas interacciones existentes en los tapetes microbianos y su influencia sobre la dinámica y salud de los ecosistemas. Esto se debe a que la información disponible y adecuada posee diversas escalas de análisis que dificultan su comparación y/o complementación, por otra parte, los datos de riqueza existente son escasos y concentrados en zonas de mayor accesibilidad, dejando la mayor parte del territorio sin prospección.
- Pese a las brechas de conocimiento, se ha podido identificar una diversa trama de interacciones, que conectan especies presentes en distintos subcomponentes y distintos ambientes.
- Existe una brecha de información relacionado con la biología e interacción entre las poblaciones de especies, las comunidades y los ecosistemas presentes, tales como las dietas de arácnidos, la polinización por parte de los insectos a la flora presente, el rol de las aves y reptiles.
- En el Modelo, no fue considerado la movilidad de los consumidores de mayor tamaño (aves, reptiles y mamíferos) o de los consumidores intermedios (insectos y arácnidos) ya que no se conocen estudios acabados del comportamiento de estos dentro de la Cuenca del Salar.
- El estudio del Modelo Conceptual Ecológico de la cuenca del Salar Atacama permitió identificar 9 componentes y 45 subcomponentes de manera teórica, entre los que se encuentran también procesos. Por tanto, se identificaron los subcomponentes que requieren de mayores estudios básicos, como la actualización de la vegetación, estudios de la composición y dinámica de los tapetes microbianos en todos los sistemas acuáticos, composición y dinámica de poblaciones de fauna. Del mismo modo, si se requiere transformar este modelo en uno ecosistémico numérico no existe la información apropiada para ello, particularmente respecto a de la cuantificación de las interacciones tróficas, en las que existen componentes que aún no han sido debidamente abordados, como, por ejemplo, los tapetes microbianos.

- La disponibilidad de la información y la calidad de estos, entendida sobre todo como representativa de las diferentes escalas del ecosistema (cuenca, sistemas terrestres, acuáticos y subcomponentes) constituye la limitante principal para desarrollar modelos ecológicos, conceptuales y numéricos, que permitan responder preguntas de investigación aplicada, como, por ejemplo, identificar los componentes más sensibles y/o resilientes a las amenazas de la cuenca. En este estudio fue la principal limitante.
- Cabe señalar que el elemento diferenciador de este estudio fue que el modelo conceptual fue validado en un proceso iterativo en base a la información bibliográfica disponible, a comparación de la formulación de otros modelos ecológicos conceptuales, que terminan con la salida gráfica del modelo, donde se identifican los componentes y sus interacciones, dejando para una fase posterior la validación. Además, en el Modelo Conceptual Ecológico desarrollado cada una de las interacciones identificadas posee un respaldo ya sea mediante literatura o por juicio de expertos.
- Otra innovación en la formulación de este Modelo Ecológico Conceptual fue el no basarse en una única pregunta inicial, sino más bien realizar un modelo que reflejara el conocimiento existente de la cuenca del Salar de Atacama y que eventualmente, pudiera responder distintos tipos de preguntas. Esto se realizó por consenso de la contraparte técnica y el equipo de especialistas. De tal modo que el modelo responde preguntas de diversa índole en la interfase ciencia y gestión como por ejemplo:
 - ¿Cuáles son los principales subcomponentes ecológicos de la cuenca y cuál es la dinámica entre ellos?
 - ¿Cómo se regulan los componentes entre sí?
 - ¿Cuáles son las relaciones directas por la acción antrópica de la cuenca? Ya sea por bombeo o establecimiento de población humana.
 - ¿De qué manera afecta un parámetro físico-químico del agua sobre el subcomponente acuático?
 - ¿Dónde se encuentran las principales amenazas antrópicas para la normal dinámica de la cuenca del Salar de Atacama?
- Con la información recabada y analizada es posible proyectar que, previo al desarrollo de un modelo numérico y que se base en una hipótesis concreta, con sus supuestos bien delimitados, se requiere de aumentar el conocimiento en los aspectos mencionados en estas conclusiones. Por ejemplo: estudiar cualitativa y cuantitativamente los tapetes microbianos en el salar y levantar información vegetal de carácter cuantitativo. Todos estos estudios requieren de proyecciones al menos a mediano plazo para asegurar la comprensión de la dinámica de la cuenca del Salar de Atacama y que dicha información pueda servir a la hora de tomar decisiones por los diferentes actores de ella.

7.4 Análisis de sensibilidad

- La variación climática es particularmente relevante en fijar las condiciones de borde para los subsistemas presentes al interior del Salar de Atacama. Por ello, si bien su impacto puede no ser particularmente alto como amenaza, sí es importante cautelar que no se den sinergias con otras amenazas de origen antrópico.



- El análisis y jerarquización de amenazas revela que la mayoría de los subsistemas u objetos de conservación analizados son muy sensibles frente a las amenazas evaluadas. Ello debe ser tomado en cuenta mediante un análisis de sinergias que permita identificar cuando un subcomponente está siendo impactado por más de un estrés ambiental, que a su vez pueda hacer sinergia con impactos o procesos de origen antrópico.

8 REFERENCIAS

Ahumada, M., Aguirre, F., Contreras, M., & Figueroa, A. (2011). Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Gobierno de Chile. Ministerio del Medio Ambiente; Servicio Agrícola y Ganadero. Departamento de Protección de Recursos Naturales. Unidad de Gestión Ambiental; Dirección General de Aguas. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos. Retrieved from <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/26045>.

141

Alba-Tercedor, J., Pardo, I., Prat, N., & Pujante, A. (2005). Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro, 235.

Alonso, H., & Risacher, F. (1995). Geoquímica del Salar de Atacama, parte 1: Origen de los componentes y balance salino. *Revista Geológica de Chile*, 23(2), 113–122.

Badhai, J., Ghosh, T. ., & Das, S. . (2015). Taxonomic and functional characteristics of microbial communities and their correlation with physicochemical properties of four geothermal springs in Odisha, India. *Frontiers in Microbiology*, 6.

Banerjee, O., Crossman, N. D., & de Groot, R. S. (2013). Ecological processes, functions and ecosystem services: Inextricable linkages between wetlands and agricultural systems. *decision making*, 7, 260-272.

Bennett, A. F., Haslem, A., Cheal, D. C., Clarke, M. F., Jones, R. N., Koehn, J. D., ... & Nally, R. M. (2009). Ecological processes: a key element in strategies for nature conservation. *Ecological Management & Restoration*, 10(3), 192-199.

Bowman, J. P., Gosink, J. J., McCammon, S. A., Lewis, T. E., Nichols, D. S., Nichols, P. D., ... McMeekin, T. A. (1998). *Colwellia demingiae* sp. nov., *Colwellia hornerae* sp. nov., *Colwellia rossensis* sp. nov. and *Colwellia psychrotropica* sp. nov.: psychrophilic Antarctic species with the ability to synthesize docosahexaenoic acid. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 48(4), 1171–1180.

Brower, J. E., & Zar, J. H. (1984). *Field and laboratory methods for general ecology* (2nd ed.). Iowa: W.C. Brown Publishers.

Bruun, J. T., Allen, J. I., & Smyth, T. J. (2017). Heartbeat of the Southern Oscillation explains ENSO climatic resonances. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(8), 6746-6772.

Cade-Idepe. (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Salar de Atacama. Cade-Idepe Consultores en Ingeniería. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile.

Caramujo, M. J. (2015). Orden Harpacticoida. *Revista IDEA-SEA*, 91(A), 1–12.

Carrasco-Lagos, P., Moreno, R., Figueroa, A., Espoz, C., & de la Maza, C. (2015). Sitios Ramsar de Chile. Seremi del Medio Ambiente Región Metropolitana de Santiago, Universidad Santo Tomás, Universidad de Chile y CONAF.

Chen, Y., Cheng, J., & Creamer, K. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*, 99(10), 4044–4064.

CIREN. (2013). Caracterización de Humedales Altoandinos para una gestión sustentable de las actividades productivas del sector norte del país. Informe Final. Centro de Información de Recursos Naturales. Santiago, Chile.

CONAMA. (2008). *Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos. Comisión Nacional de Medio Ambiente, Gobierno de Chile*. Retrieved from http://www.mma.gob.cl/librobiodiversidad/1308/biodiversid_parte_1a.pdf

Contreras, M., & Farias, M. E. (2017). Guía para la Conservación y Seguimiento de Ecosistemas Microbianos Extremófilos: Tapetes Microbianos, Microbialitos y Endoevaporitas.

De los Ríos-Escalante, P. R. (2010). Crustacean Zooplankton Communities in Chilean Inland Waters. *Crustaceana Monographs*, 12, 109.

De los Ríos-Escalante, P., & Salgado, I. (2012). *Artemia* (Crustacea, Anostraca) in Chile : a review of basic and applied biology. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(3), 487–496. <https://doi.org/10.3856/vol40-issue3-fulltext-1>

Delgado, L. E., & Marín, V. H. (2005). FES-sistema: un concepto para la incorporación de las sociedades humanas en el análisis medioambiental en Chile. *Revista Ambiente Y Desarrollo*, 21(3), 18–22.

Demergasso, C., Chong, G., Galleguillos, P., Escudero, L., Martínez-Alonso, M., & Esteve, I. (2003). Tapetes microbianos del Salar de Llamará, norte de Chile. *Revista Chilena De Historia Natural*, 76(3), 485–499. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2003000300012>

Demergasso, C., Escudero, L., Casamayor, E. O., Chong, G., Balague, V., & Pedros-Alio, C. (2008). Novelty and spatio-temporal heterogeneity in the bacterial diversity of hypersaline Lake Tebenquiche (Salar de Atacama). *Extremophiles*, 12, 491–504. <https://doi.org/10.1007/s00792-008-0153-y>

DGA. (2012). Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del acuífero del Salar de Atacama. Informe Técnico SDT N° 324. Departamento de Administración de Recursos Hídricos . Dirección General de Aguas.

DGA. (2013). Análisis de la oferta hídrica del Salar de Atacama. Informe Técnico SDT N° 339. Santiago, Chile.: División de Estudios y Planificación. Dirección General de Aguas.

DGA. (2016). Sistematización de la información de los recursos hídricos del salar de atacama para un futuro plan de gestión. Informe Técnico SDT N° 392. División de Estudios y Planificación. Dirección General de Aguas.

Díaz-Quiroz, C., & Rivera-Rondon, C. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia*, 26(2), 381–394.

Dorador, C., Meneses, D., Urtuvia, V., Demergasso, C., Vila, I., Witzel, K. P., & Imhoff, J. F. (2009). Diversity of bacteroidetes in high-altitude saline evaporitic basins in northern Chile. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 114, 1–11. <https://doi.org/10.1029/2008JG000837>

Duran, R. (2010). Marinobacter. In K. N. Timmis (Ed.), *Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology* (pp. 1725–1735). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77587-4_122

Fariás, M. E., Contreras, M., Rasuk, M. C., Kurth, D., Flores, M. R., Poiré, D. G., ... Visscher, P. T. (2014). Characterization of bacterial diversity associated with microbial mats, gypsum evaporites and carbonate microbialites in thalassic wetlands: Tebenquiche and La Brava, Salar de Atacama, Chile. *Extremophiles*, 18(2), 311–329. <https://doi.org/10.1007/s00792-013-0617-6>

Farias, M. E., Rasuk, M. C., Gallagher, K. L., Contreras, M., Kurth, D., Fernandez, A. B., ... Visscher, P. T. (2017). Prokaryotic diversity and biogeochemical characteristics of benthic microbial ecosystems at La Brava, a hypersaline lake at Salar de Atacama, Chile. *PLoS ONE*, 12(11), 1–25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186867>

Fernandez, A., Rasuk, M., Visscher, P., Contreras, M., Novoa, F., Poiré, D., ... Farias, M. (2016). Microbial diversity in sediment ecosystems (evaporites domes, microbial mats, and crusts) of Hypersaline Laguna Tebenquiche, Salar de Atacama, Chile. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1–18. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01284>

Foundations of Success. (2009). Conceptualizing and Planning Conservation Projects and Programs: A Training Manual. Foundations of Success, Bethesda, Maryland, USA.

Frigge, M., Hoaglin, D., & Iglewicz, B. (1989). Some implementations of the boxplots. *The American Statistician*, 43(1), 50–54. Retrieved from <http://www.jstor.org/cgi-bin/jstor/printpage/00031305/di020601/02p00503/0.pdf?backcontext=page&dowhat=Acrobat&config=jstor&userID=82c20d69@monash.edu.au/01c0a848740050aa743&0.pdf>

Gajardo R. (1994). Sistema Básico de Clasificación de la Vegetación Nativa Chilena. CONAF. Universidad de Chile. Santiago. Mapas regionales. 315 pp.

Garrity, G. ., Bell, J. ., & Lilburn, T. (2005). Pseudomonadales Orla-Jensen 1921, 270. In: Brenner D.J. et al. (eds). *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology*. Springer.

Grant, W. ., & Larsen, H. (1989). Extremely halophilic archaeobacteria. Order Halobacteriales. *Manual of Systematic Bacteriology*, 3, 2216–2228.

Griffiths, E., & Gupta, R. . (2007). Identification of signature proteins that are distinctive of the Deinococcus–Thermus phylum. *International Microbiology*, 10(3), 201–208.

Heemskerk, M., Wilson, K., & Pavao-Zuckerman, M. (2003). Conceptual models as tools for communication across disciplines. *Conservation Ecology*, 7(3), 8. <https://doi.org/8>

Jørgensen, S. E., & Fath, B. (2011). *Fundamentals of Ecological Modelling: Applications in Environmental Management and Research*. Elsevier (4th ed.). Elsevier.

Kuever, J. (2014). The Family Desulfovibrionaceae. In E. Rosenberg, E. F. DeLong, S. Lory, E. Stackebrandt, & F. Thompson (Eds.), *The Prokaryotes*. Springer US.

Lindenmayer, D. B., & Likens, G. E. (2009). Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(9), 482–486.

Madigan, M. T., & Martinko, J. M. (2006). *Brock biology of microorganisms* (11th ed.). Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. Retrieved from <http://books.google.cz/books?id=mwUpAQAAAMAJ>

Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>

Margulis, L., B, A. J., Solé, M., & Guerrero, R. (1993). Composite, large spirochetes from microbial mats: spirochete structure review. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(15), 6966–6970.

Marín, V. H., Delgado, L. E., & Bachmann, P. (2008). Conceptual PHES-system models of the Aysén watershed and fjord (Southern Chile): Testing a brainstorming strategy. *Journal of Environmental Management*, 88, 1109–1118.

Minera Escondida Ltda. (2017). Ecosistemas Acuáticos Continentales. Sección 3.10. In *Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Monturaqui* (p. 209).

MMA. (2011). Capítulo 8: Recursos Hídricos. In *Informe del Estado del Medio Ambiente* (pp. 322–362).

MMA, & Centro de Ecología Aplicada. (2011). Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. Santiago, Chile.

Muñoz, J. F., Ortiz, C., & Chicurel, P. (2004). Funcionamiento hidráulico de las lagunas marginales del núcleo del Salar de Atacama (Anexo 2). In *Cambios y mejoras de la operación minera en el Salar de Atacama* (p. 94).

Neef, A., Amann, R., Schlesner, H., & Schleifer, K. H. (1998). Monitoring a widespread bacterial group: in situ detection of planctomycetes with 16S rRNA-targeted probes. *Microbiology*, 144, 3257–3266.

Parra, O. O., & Bicudo, C. E. . (1996). *Algas de Aguas Continentales: Introducción a la Biología y Sistemática*. (Universidad de Concepción, Ed.).

Ribera Urenda, F. (2016). Salinidad y aguas subterráneas. In FCIHS (Ed.), *Hidrogeología emergente. 50 Aniversario CIHS*. (pp. 97–110). FCIHS.

Rockwood Lithium Ltda. (2015). Anexo 2: Plan De Manejo Biotico. In *Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta* (pp. 1–158).

Rockwood Lithium Ltda. (2016). Informe Consolidado de la Evaluación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto “EIA Modificación y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama.”

Ruepp, A., Graml, W., Santos-Martinez, M. L., Koretke, K., Volker, C., Mewes, H., ... Baumeister, W. (2000). The genome sequence of the thermoacidophilic scavenger *Thermoplasma acidophilum*. *Nature*, 407, 508–513.

Rodriguez R., Marticorena C., Alarcón D., Baeza C., Cavieres L., Finot V., Fuentes N., Kiessling A., Mihoc M., Pauchard A., Ruiz E., Sanchez P. & A. Marticorena. (2018) Catálogo de las plantas vasculares de Chile. *Gayana Bot.* 75(1): 1-430

Saddler, G. ., & Bradbury, J. . (2005). Order III. Xanthomonadales. In *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (pp. 63–122). Springer US.

Salas, J., Guimerà, J., Cornellà, O., Aravena, R., Guzmán, E., Tore, C., ... Moreno, R. (2010). Hidrogeología del sistema lagunar del margen Este del Salar de Atacama (Chile). *Boletín Geológico Y Minero*, 121(4), 357–372. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3340751>

Samanez, I., Rimarachin, V., Palma, C., & Ortega, H. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. (Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural, Ed.). Lima.

Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). Manejo de cuencas hidrográficas: Integración de la conservación y del uso racional de los humedales en el manejo de las cuencas hidrográficas. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 9. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).

Singh, O. V. (2012). *Extremophiles: Sustainable Resources and Biotechnological Implications*. John Wiley & Sons.

Sobarzo, G. (2014). Dienta de *Orestias ascotanensis* Parenti en tres vertientes del salar de Ascotán. Tesis para optar al título profesional de Médico Veterinario, 44.

Stommel, H. (1963). Varieties of Oceanographic Experience: The ocean can be investigated as a hydrodynamical phenomenon as well as explored geographically. *Science*, 139(3555), 572–576. <https://doi.org/10.1126/science.139.3555.572>

van Weert, F., & van der Gun, J. (2012). Saline and Brackish groundwater at shallow and intermediate depths: Genesis and World Wide Occurrence. In *2012 Congress of the Canadian branch of the International Association of Hydrogeologists (IAH)* (pp. 1–9). Retrieved from <https://www.un-igrac.org/es/resource/saline-and-brackish-groundwater-shallow-and-intermediate-depths-genesis-and-world-wide>

Vreeland, R. ., Litchfield, C. ., E.L, M., & Elliot, E. (1980). *Halomonas elongata*, a new genus and species of extremely salt-tolerant bacteria. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 30(2), 485–495.

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*, Third Edition. Academic Press.

Zúñiga, L., Campos, V., Pinochet, H., & Prado, B. (1991). A limnological reconnaissance of Lake Tebenquiche, Salar de Atacama, Chile. *Hydrobiologia*, 210, 19–24. <https://doi.org/10.1007/BF00014320>



Zúñiga, O., Wilson, R., Amat, F., & Hontoria, F. (1999). Distribution and characterization of Chilean populations of the brine shrimp *Artemia* (Crustacea, Branchiopoda, Anostraca). *International Journal of Salt Lake Research*, 8(1), 23–40. <https://doi.org/10.1023/A:1009056621535>

ANEXO

ANEXO A. Información base para el análisis del subcomponente de Flora de la Cuenca del Salar de Atacama

Tabla 1. Número de especies por familia registrados para la cuenca del Salar de

147

División	Clase	Familia	Número de especies
División Polypodiophyta	Clase Polypodiopsida	Pteridaceae	1
		Thelypteridaceae	1
División Pinophyta	Clase Gnetopsida	Ephedraceae	3
División Magnoliophyta	Clase Liliopsida	Poaceae	53
		Cyperaceae	11
		Juncaceae	3
		Juncaginaceae	3
		Asparagaceae	1
		Iridaceae	1
		Potamogetonaceae	1
		Ruppiaceae	1
	Clase Magnoliopsida	Asteraceae	90
		Fabaceae	22
		Chenopodiaceae	17
		Malvaceae	15
		Solanaceae	15
		Brassicaceae	14
		Monimiaceae	12
		Boraginaceae	11
		Verbenaceae	8
		Apiaceae	6
		Caryophyllaceae	6
		Plantaginaceae	6
		Cactaceae	5
		Loasaceae	4
		Oxalidaceae	3
		Polemoniaceae	3
		Polygonaceae	3
		Ranunculaceae	3
		Calyceraceae	2
		Caprifoliaceae	2
		Euphorbiaceae	2
		Geraniaceae	2
		Haloragaceae	2
		Krameriaceae	2
		Nyctaginaceae	2
		Onagraceae	2
		Zygophyllaceae	2
		Aizoaceae	1
		Amaranthaceae	1
		Anacardiaceae	1
		Apocynaceae	1
		Bignoniaceae	1
		Calceolariaceae	1
		Campanulaceae	1

Convolvulaceae	1
Dipsacaceae	1
Frankeniaceae	1
Gentianaceae	1
Lamiaceae	1
Linaceae	1
Malpighiaceae	1
Montiaceae	1
Phrymaceae	1
Rosaceae	1

Tabla 2 Número de especies por género registrados para la cuenca del Salar de Atacama

Género	Número de especies
ACAENA	1
ACHNATHERUM	1
ALLIONIA	1
AMARANTHUS	1
AMBROSIA	1
APIUM	1
ARENARIA	1
ARGYLIA	1
ARISTIDA	1
ARUNDO	1
ASPARAGUS	1
ASTRAGALUS	1
ATRIPEX	1
AZORELLA	1
BOUTELOUA	1
BOWLESIA	1
BRASSICA	1
BROMUS	1
BRYANTIELLA	1
CALCEOLARIA	1
CALYCERA	1
CAREX	1
CENCHRUS	1
CESTRUM	1
CHENOPODIASTRUM	1
CHORIZANTHE	1
CONVOLVULUS	1

CONYZA	1
COTULA	1
CYNODON	1
DATURA	1
DINEMANDRA	1
DIPLOSTEPHIUM	1
DONIOPHYTON	1
DYSPHANIA	1
ENNEAPOGON	1
EPILOBIUM	1
ERODIUM	1
EXODECONUS	1
FAGONIA	1
FOENICULUM	1
FRANKENIA	1
GENTIANA	1
GEOFFROEA	1
GERANIUM	1
HAPLOPAPPUS	1
HELOGYNE	1
HETEROSPERMA	1
HUIDOBRIA	1
HYPOCHAERIS	1
JABOROSA	1
LEUCHERIA	1
LILAEOPSIS	1
LIMOSELLA	1
LINUM	1
LOBELIA	1
LOBIVIA	1
LOBULARIA	1
LYCIUM	1
LYCOPERSICON	1
MALVA	1
MARRUBIUM	1
MASTIGOSTYLA	1
MATRICARIA	1
MELILOTUS	1

MIMULUS	1
MIRABILIS	1
MOSCHOPSIS	1
MOSTACILLASTRUM	1
MUHLENBERGIA	1
MULINUM	1
NAMA	1
NOTHOLAENA	1
OENOTHERA	1
OXYCHLOE	1
PASPALUM	1
PECTOCARYA	1
PENNISSETUM	1
PHILIPPIAMRA	1
PHRAGMITES	1
PHYLLOSCIRPUS	1
PITRAEA	1
POLYGONUM	1
PSEUDOGNAPHALIUM	1
PUCCINELLIA	1
REICHELLA	1
REYESIA	1
RUMEX	1
RUPPIA	1
SCABIOSA	1
SCHEDONORUS	1
SCHINUS	1
SCHKUHRIA	1
SCORZONERA	1
SISYMBRIUM	1
SPARTIUM	1
SPERGULARIA	1
STIPA	1
TESSARIA	1
TETRAGONIA	1
THELYPTERIS	1
TRAGOPOGON	1
TRIBULUS	1

TRICHOCLINE	1
URMENETEA	1
UROCARPIDIUM	1
VERBESINA	1
VINCA	1
XANTHIUM	1
XENOPHYLLUM	1
ZAMEIOSCIRPUS	1
ZANNICHELLIA	1
ACANTHOLIPPIA	2
ANATHEROSTIPA	2
ARTEMISIA	2
CALANDRINIA	2
CHERSODOMA	2
CHUQUIRAGA	2
CORTADERIA	2
CRYPTANTHA	2
ELEOCHARIS	2
EUPHORBIA	2
GILIA	2
HOFFMANNSEGGIA	2
HORDEUM	2
JUNCUS	2
KRAMERIA	2
LAMPAYA	2
LEPIDIUM	2
LUPINUS	2
MEDICAGO	2
MENONVILLEA	2
MUTISIA	2
MYRIOPHYLLUM	2
NEUONTOBOTRYS	2
NICOTIANA	2
NITROPHILA	2
NOLANA	2
POLYACHYRUS	2
SARCOCORNIA	2
SONCHUS	2

TAGETES	2
VALERIANA	2
BIDENS	3
CAIOPHORA	3
DISTICHLIS	3
EPHEDRA	3
JUNELLIA	3
MONTIOPSIS	3
MUNROA	3
NASSELLA	3
OXALIS	3
POLYPOGON	3
PYCNOPHYLLUM	3
RANUNCULUS	3
TIQUILIA	3
TRIGLOCHIN	3
ATRIPLEX	4
CHAETANTHERA	4
CRISTARIA	4
DESCURAINIA	4
ERAGROSTIS	4
FABIANA	4
FESTUCA	4
NOTOTRICHE	4
OPUNTIA	4
PEREZIA	4
PHACELIA	4
SOLANUM	4
WERNERIA	4
PARASTREPHIA	5
PLANTAGO	5
PROSOPIS	5
TARASA	5
BACCHARIS	6
CHENOPODIUM	6
SCIRPUS	6
ADESMIA	7
CISTANTHE	7

JARAVA	7
DEYEUXIA	9
SENECIO	21

Tabla 3. Listado de especies según hábito, ciclo y origen en la Cuenca del Salar de Atacama

Familia	Nombre científico	hábito	ciclo	Origen
Rosaceae	<i>ACAENA MAGELLANICA</i>	Árbol	Perenne	Nativa
Fabaceae	<i>ADESMIA ATACAMENSIS</i>	Arbusto	Perenne	Endémica
Fabaceae	<i>ADESMIA ERINACEA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Fabaceae	<i>ADESMIA HYSTRIX</i>	Arbusto	Perenne	Endémica
Fabaceae	<i>ADESMIA MELANTHES</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Fabaceae	<i>ADESMIA OCCULTA</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Fabaceae	<i>ADESMIA RAHMERI</i>	Hierba	anual	Nativa
Fabaceae	<i>ADESMIA SPINOSISSIMA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Nyctaginaceae	<i>ALLIONIA INCARNATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Verbenaceae	<i>ALOYSIA DESERTICOLA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Amaranthaceae	<i>AMARANTHUS HYBRIDUS</i>	Hierba	Anual	Adventicia
Asteraceae	<i>AMBROSIA ARTEMISIOIDES</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>ANATHEROSTIPA BOMANII</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>ANATHEROSTIPA VENUSTA</i>	Hierba	Perenne	Endémica
Apiaceae	<i>APIUM GRAVEOLENS</i>	Hierba	Anual	Adventicia
Caryophyllaceae	<i>ARENARIA SERPENS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Bignoniaceae	<i>ARGYLIA TOMENTOSA</i>	Hierba	Perenne	Endémica
Pteridaceae	<i>ARGYROCHOSMA NIVEA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>ARISTIDA ADSCENSIONIS</i>	Hierba	Anual	Nativa
Asteraceae	<i>ARTEMISIA ABROTANUM</i>	Arbusto	Perenne	Adventicia
Asteraceae	<i>ARTEMISIA COPA</i>	Arbusto	Perenne	Endémica
Poaceae	<i>ARUNDO DONAX</i>	Hierba	Perenne	Adventicia
Asparagaceae	<i>ASPARAGUS OFFICINALIS</i>	Hierba	Perenne	Adventicia
Fabaceae	<i>ASTRAGALUS MICRANTHELLUS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Chenopodiaceae	<i>ATRIPEX IMBRICATA</i>	arbusto	Perenne	Nativa
Chenopodiaceae	<i>ATRIPEX ATACAMENSIS</i>	Arbusto	Perenne	Endémica
Chenopodiaceae	<i>ATRIPEX GLAUDESCENS</i>	Arbusto	Perenne	Endémica
Chenopodiaceae	<i>ATRIPEX IMBRICATA</i>	arbusto	Perenne	Nativa
Chenopodiaceae	<i>ATRIPEX MADARIAGAE</i>	Arbusto	Perenne	Endémica
Apiaceae	<i>AZORELLA ATACAMENSIS</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Apiaceae	<i>AZORELLA COMPACTA</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>BACCHARIS ALNIFOLIA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>BACCHARIS BOLIVIENSIS</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>BACCHARIS CALLIPRINOS</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>BACCHARIS GLUTINOSA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>BACCHARIS JUNCEA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>BACCHARIS TOLA ALTIPLANICOLA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>BIDENS AUREA</i>	Hierba	Perenne	Adventicia
Asteraceae	<i>BIDENS PSEUDOCOSMOS</i>	Hierba	Anual	Nativa
Asteraceae	<i>BIDENS SUBALTERNANS</i>	Hierba	Anual	Nativa
Poaceae	<i>BOUTELOUA SIMPLEX</i>	Hierba	Anual	Nativa
Apiaceae	<i>BOWLESIA PAPOSANA</i>	Hierba	Anual	Endémica
Brassicaceae	<i>BRASSICA RAPA</i>	Hierba	Anual	Adventicia

Poaceae	<i>BROMUS CATHARTICUS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Polemoniaceae	<i>BRYANTIELLA GLUTINOSA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Loasaceae	<i>CAIOPHORA CHUQUITENSIS</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Loasaceae	<i>CAIOPHORA CORONATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Loasaceae	<i>CAIOPHORA ROSULATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Montiaceae	<i>CALANDRINIA COMPACTA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Calceolariaceae	<i>CALCEOLARIA STELLARIIFOLIA</i>	Subarbusto	Perenne	Endémica
Calyceraceae	<i>CALYCERA PULVINATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Cyperaceae	<i>CAREX MARITIMA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>CENCHRUS CHILENSIS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Solanaceae	<i>CESTRUM PARQUI</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Chenopodiaceae	<i>CHENOPODIASTRUM MURALE</i>	Hierba	Annual	Adventicia
Chenopodiaceae	<i>CHENOPODIUM ALBUM</i>	Hierba	Annual	Adventicia
Chenopodiaceae	<i>CHENOPODIUM FRIGIDUM</i>	Hierba	Annual	Nativa
Chenopodiaceae	<i>CHENOPODIUM MANDONII</i>	Hierba	Annual	Nativa
Chenopodiaceae	<i>CHENOPODIUM PETIOLARE</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Chenopodiaceae	<i>CHENOPODIUM VULVARIA</i>	Hierba	Annual	Adventicia
Asteraceae	<i>CHERSODOMA CANDIDA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>CHERSODOMA JODOPAPPA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Polygonaceae	<i>CHORIZANTHE COMMISSURALIS</i>	Hierba	Annual	Nativa
Asteraceae	<i>CHUQUIRAGA ATACAMENSIS</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>CHUQUIRAGA SPINOSA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Montiaceae	<i>CISTANTHE AMARANTOIDES</i>	Hierba	Perenne	Endémica
Montiaceae	<i>CISTANTHE CELOSIOIDES</i>	Hierba	Annual	Nativa
Montiaceae	<i>CISTANTHE CYMOSA</i>	Hierba	Annual	Endémica
Montiaceae	<i>CISTANTHE DENSIFLORA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Montiaceae	<i>CISTANTHE MINUSCULA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Montiaceae	<i>CISTANTHE PICTA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Montiaceae	<i>CISTANTHE SALSOLOIDES</i>	Hierba	Annual	Nativa
Convolvulaceae	<i>CONVOLVULUS ARVENSIS</i>	Subarbusto	Perenne	Adventicia
Asteraceae	<i>CONYZA DESERTICOLA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>CORTADERIA SPECIOSA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>COTULA MEXICANA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Malvaceae	<i>CRISTARIA ADENOPHORA</i>	Hierba	Perenne	Endémica
Malvaceae	<i>CRISTARIA ANDICOLA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Malvaceae	<i>CRISTARIA DISSECTA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Malvaceae	<i>CRISTARIA GRACILIS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Boraginaceae	<i>CRYPTANTHA CALYCINA</i>	Hierba	Annual	Endémica
Boraginaceae	<i>CRYPTANTHA HISPIDA</i>	Hierba	Annual	Endémica
Cactaceae	<i>CUMULOPUNTIA IGNESESCENS</i>	suculenta	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>CYNODON DACTYLON</i>	Hierba	Perenne	Adventicia
Solanaceae	<i>DATURA STRAMONIUM</i>	Hierba	annual	Adventicia
Brassicaceae	<i>DESCURAINIA DEPRESSA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Brassicaceae	<i>DESCURAINIA MYRIOPHYLLA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Brassicaceae	<i>DESCURAINIA STRICTA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Poaceae	<i>DEYEUXIA BREVIARISTATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>DEYEUXIA CABRERAE</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>DEYEUXIA CHRYSANTHA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>DEYEUXIA CRISPA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>DEYEUXIA CURVULA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>DEYEUXIA DESERTICOLA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>DEYEUXIA EMINENS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>DEYEUXIA RIGIDA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>DEYEUXIA VELUTINA</i>	Hierba	Perenne	Nativa

Malpighiaceae	<i>DINEMANDRA ERICOIDES</i>	Arbusto	Perenne	Endémica
Asteraceae	<i>DIPLOSTEPHIUM MEYENII</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>DISTICHLIS HUMILIS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>DISTICHLIS SCOPARIA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>DISTICHLIS SPICATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>DONIOPHYTON WEDDELLII</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Chenopodiaceae	<i>DYSPHANIA AMBROSIOIDES</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Cyperaceae	<i>ELEOCHARIS PSEUDOALBIBRACTEATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>ENNEAPOGON DESVAUXII</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Ephedraceae	<i>EPHEDRA AMERICANA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Ephedraceae	<i>EPHEDRA CHILENSIS</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Ephedraceae	<i>EPHEDRA MULTIFLORA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Onagraceae	<i>EPILOBIUM DENTICULATUM</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>ERAGROSTIS MEXICANA</i>	Hierba	Anual	Nativa
Poaceae	<i>ERAGROSTIS MEXICANA VIRESCENS</i>	Hierba	Anual	Nativa
Poaceae	<i>ERAGROSTIS NIGRICANS</i>	Hierba	Anual	Nativa
Poaceae	<i>ERAGROSTIS PERUVIANA</i>	Hierba	Anual	Nativa
Geraniaceae	<i>ERODIUM CICUTARIUM</i>	Hierba	Anual	Adventicia
Euphorbiaceae	<i>EUPHORBIA AMANDI</i>	Hierba	Anual	Nativa
Euphorbiaceae	<i>EUPHORBIA PEPLUS</i>	Hierba	Anual	Adventicia
Solanaceae	<i>EXODECONUS INTEGRIFOLIUS</i>	Hierba	Anual	Nativa
Solanaceae	<i>FABIANA BRYOIDES</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Solanaceae	<i>FABIANA DENUATA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Solanaceae	<i>FABIANA RAMULOSA</i>	Arbusto	Perenne	Endémica
Solanaceae	<i>FABIANA SQUAMATA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Zygophyllaceae	<i>FAGONIA CHILENSIS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>FESTUCA CHRYSOPHYLLA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>FESTUCA HYPSPHILA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Apiaceae	<i>FOENICULUM VULGARE</i>	Hierba	Perenne	Adventicia
Frankeniaceae	<i>FRANKENIA TRIANDRA</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Gentianaceae	<i>GENTIANA PROSTRATA</i>	Hierba	Anual	Nativa
Fabaceae	<i>GEOFFROEA DECORTICANS</i>	Árbol	Perenne	Nativa
Geraniaceae	<i>GERANIUM CORE-CORE</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Polemoniaceae	<i>GILIA CRASSIFOLIA</i>	Hierba	Anual	Nativa
Polemoniaceae	<i>GILIA LACINIATA</i>	Hierba	Anual	Nativa
Ranunculaceae	<i>HALERPESTES CYMBALARIA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Ranunculaceae	<i>HALERPESTES EXILIS</i>	Hierba	Anual	Nativa
Ranunculaceae	<i>HALERPESTES UNIFLORA</i>	hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>HAPLOPAPPUS RIGIDUS</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>HELOGYNE MACROGYNE</i>	Arbusto	Perenne	Endémica
Asteraceae	<i>HETEROSPERMA NANUM</i>	Hierba	Anual	Nativa
Fabaceae	<i>HOFFMANNSEGGIA DOELLII</i>	Hierba	Perenne	Endémica
Fabaceae	<i>HOFFMANNSEGGIA EREMOPHILA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>HORDEUM COMOSUM</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>HORDEUM PUBIFLORUM</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Loasaceae	<i>HUIDOBRIA FRUTICOSA</i>	Arbusto	Perenne	Endémica
Asteraceae	<i>HYPOCHAERIS CHONDRILLOIDES</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Cyperaceae	<i>ISOLEPIS CERNUA</i>	Hierba	Anual	Nativa
Solanaceae	<i>JABOROSA PARVIFLORA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>JARAVA PLUMOSULA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>JARAVA POGONATHERA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Juncaceae	<i>JUNCUS BALTICUS ANDICOLA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Verbenaceae	<i>JUNELLIA DIGITATA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Verbenaceae	<i>JUNELLIA PAPPIGERA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa

Verbenaceae	<i>JUNELLIA SERIPHIOIDES</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Krameriaceae	<i>KRAMERIA CISTOIDEA</i>	Arbusto	Perenne	Endémica
Krameriaceae	<i>KRAMERIA LAPPACEA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Verbenaceae	<i>LAMPAYA HIERONYMI</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Verbenaceae	<i>LAMPAYA MEDICINALIS</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Brassicaceae	<i>LEPIDIUM BONARIENSE</i>	Hierba	Annual	Nativa
Brassicaceae	<i>LEPIDIUM STRICTUM</i>	Hierba	Annual	Endémica
Asteraceae	<i>LEUCHERIA PTEROPOGON</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Apiaceae	<i>LILAEOPSIS MACLOVIANA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Plantaginaceae	<i>LIMOSELLA AUSTRALIS</i>	Hierba	Annual	Nativa
Linaceae	<i>LINUM BIENNE</i>	Hierba	Perenne	Adventicia
Campanulaceae	<i>LOBELIA OLIGOPHYLLA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Cactaceae	<i>LOBIVIA FORMOSA</i>	suculenta	Perenne	Nativa
Brassicaceae	<i>LOBULARIA MARITIMA</i>	Hierba	Perenne	Adventicia
Fabaceae	<i>LUPINUS OREOPHILUS</i>	Hierba	Perenne	Endémica
Fabaceae	<i>LUPINUS SUBINFLATUS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Solanaceae	<i>LYCIUM HUMILE</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Cactaceae	<i>MAIHUENIOPSIS CAMACHOI</i>	suculenta	Perenne	Endémica
Cactaceae	<i>MAIHUENIOPSIS GLOMERATA</i>	suculenta	Perenne	Nativa
Malvaceae	<i>MALVA PARVIFLORA</i>	Hierba	Perenne	Adventicia
Lamiaceae	<i>MARRUBIUM VULGARE</i>	Hierba	Perenne	Adventicia
Iridaceae	<i>MASTIGOSTYLA CYRTOPHYLLA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>MATRICARIA CHAMOMILLA</i>	Hierba	annual	Adventicia
Fabaceae	<i>MEDICAGO LUPULINA</i>	Hierba	annual	Adventicia
Fabaceae	<i>MEDICAGO SATIVA</i>	Hierba	Perenne	Adventicia
Fabaceae	<i>MELILOTUS INDICUS</i>	Hierba	annual	Adventicia
Brassicaceae	<i>MENONVILLEA ROLLINSII</i>	Subarbusto	Perenne	Endémica
Brassicaceae	<i>MENONVILLEA VIRENS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Phrymaceae	<i>MIMULUS GLABRATUS</i>	Hierba	Annual	Nativa
Montiaceae	<i>MONTIOPSIS CUMINGII</i>	Hierba	Annual	Nativa
Montiaceae	<i>MONTIOPSIS MODESTA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Montiaceae	<i>MONTIOPSIS PARVIFLORA</i>	Hierba	Annual	Endémica
Calyceraceae	<i>MOSCHOPSIS MONOCEPHALA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Brassicaceae	<i>MOSTACILLASTRUM DIANTHOIDES</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>MUHLENBERGIA ASPERIFOLIA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>MUNROA ANDINA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Poaceae	<i>MUNROA ARGENTINA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Poaceae	<i>MUNROA DECUMBENS</i>	Hierba	Annual	Nativa
Asteraceae	<i>MUTISIA HAMATA</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>MUTISIA LANIGERA</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Haloragaceae	<i>MYRIOPHYLLUM AQUATICUM</i>	hierba	Perenne	Nativa
Haloragaceae	<i>MYRIOPHYLLUM QUITENSE</i>	hierba	Perenne	Nativa
Boraginaceae	<i>NAMA DICHOTOMUM</i>	Hierba	Annual	Nativa
Poaceae	<i>NASSELLA CAESPITOSA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>NASSELLA NARDOIDES</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>NASSELLA RUPESTRIS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Brassicaceae	<i>NEUONTOBOTRYS LANATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Brassicaceae	<i>NEUONTOBOTRYS TARAPACANA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Solanaceae	<i>NICOTIANA ACUMINATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Solanaceae	<i>NICOTIANA LONGIBRACTEATA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Chenopodiaceae	<i>NITROPHILA ATACAMENSIS</i>	Hierba	Annual	Endémica
Solanaceae	<i>NOLANA APLOCARYOIDES</i>	Hierba	Annual	Nativa
Solanaceae	<i>NOLANA LINEARIFOLIA</i>	Hierba	Perenne	Endémica
Malvaceae	<i>NOTOTRICHE AURICOMA</i>	Hierba	Perenne	Endémica

Malvaceae	<i>NOTOTRICHE DIMINUTIVA</i>	Hierba	Anual	Endémica
Malvaceae	<i>NOTOTRICHE NANA</i>	Hierba	Anual	Endémica
Malvaceae	<i>NOTOTRICHE PHILIPPII</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Onagraceae	<i>OENOTHERA PICENSIS</i>	Hierba	Anual	Nativa
Asteraceae	<i>ORIASTRUM STUEBELII</i>	Hierba	Anual	Nativa
Asteraceae	<i>ORIASTRUM ACHENOHIRSUTUM</i>	Hierba	Anual	Nativa
Asteraceae	<i>ORIASTRUM REVOLUTUM</i>	Hierba	Anual	Nativa
Asteraceae	<i>ORIASTRUM SPHAEROIDALE</i>	Hierba	Anual	Nativa
Oxalidaceae	<i>OXALIS HYPHOPHYLLA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Oxalidaceae	<i>OXALIS PYCNOPHYLLA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Oxalidaceae	<i>OXALIS TACORENSIS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Juncaceae	<i>OXYCHLOE ANDINA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>PAPPOSTIPA ATACAMENSIS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>PAPPOSTIPA CHRYSOPHYLLA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>PAPPOSTIPA FRIGIDA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>PAPPOSTIPA SPECIOSA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>PAPPOSTIPA VAGINATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>PARASTREPHIA LEPIDOPHYLLA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>PARASTREPHIA LUCIDA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>PARASTREPHIA LUCIDA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>PARASTREPHIA QUADRANGULARIS</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>PARASTREPHIA TERETIUSCULA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>PASPALUM DISTICHUM</i>	Hierba	Perenne	Adventicia
Boraginaceae	<i>PECTOCARYA LINEARIS</i>	Hierba	anual	Adventicia
Asteraceae	<i>PEREZIA ATACAMENSIS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>PEREZIA CILIOSA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>PEREZIA PINNATIFIDA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>PEREZIA PUNGENS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Boraginaceae	<i>PHACELIA CUMINGII</i>	Hierba	Anual	Nativa
Boraginaceae	<i>PHACELIA PINNATIFIDA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Boraginaceae	<i>PHACELIA SETIGERA</i>	Hierba	Anual	Nativa
Boraginaceae	<i>PHACELIA SINUATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>PHRAGMITES AUSTRALIS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Cyperaceae	<i>PHYLLOSCIRPUS DESERTICOLA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>PICRADENIOPSIS MULTIFLORA</i>	Hierba	Anual	Nativa
Verbenaceae	<i>PITRAEA CUNEATO-OVATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Plantaginaceae	<i>PLANTAGO LANCEOLATA</i>	Hierba	Perenne	Adventicia
Plantaginaceae	<i>PLANTAGO LITOREA</i>	Hierba	Anual	Endémica
Plantaginaceae	<i>PLANTAGO MAJOR</i>	Hierba	Perenne	Adventicia
Plantaginaceae	<i>PLANTAGO RANCAGUAE</i>	Hierba	Anual	Endémica
Plantaginaceae	<i>PLANTAGO TUBULOSA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>POLYACHYRUS CARDUOIDES</i>	Subarbusto	Perenne	Endémica
Asteraceae	<i>POLYACHYRUS SPHAEROCEPHALUS</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Polygonaceae	<i>POLYGONUM AVICULARE</i>	Hierba	anual	Adventicia
Poaceae	<i>POLYPOGON AUSTRALIS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>POLYPOGON INTERRUPTUS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>POLYPOGON MONSPELIENSIS</i>	Hierba	anual	Adventicia
Fabaceae	<i>PROSOPIS ALBA</i>	Árbol	Perenne	Nativa
Fabaceae	<i>PROSOPIS CHILENSIS</i>	Árbol	Perenne	Nativa
Fabaceae	<i>PROSOPIS FLEXUOSA</i>	Árbol	Perenne	Nativa
Fabaceae	<i>PROSOPIS STROMBULIFERA</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Fabaceae	<i>PROSOPIS TAMARUGO</i>	Árbol	Perenne	Endémica
Asteraceae	<i>PSEUDOGNAPHALIMUM PSILOPHYLLUM</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Poaceae	<i>PUCCINELLIA FRIGIDA</i>	Hierba	Perenne	Nativa

Caryophyllaceae	<i>PYCNOPHYLLUM BRYOIDES</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Caryophyllaceae	<i>PYCNOPHYLLUM MACROPETALUM</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Caryophyllaceae	<i>PYCNOPHYLLUM MOLLE</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Caryophyllaceae	<i>REICHELLA ANDICOLA</i>	Hierba	Perenne	Endémica
Solanaceae	<i>REYESIA PARVIFLORA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Cyperaceae	<i>RHODOSCIRPUS ASPER</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Polygonaceae	<i>RUMEX CRISPUS</i>	hierba	Perenne	Adventicia
Ruppiaceae	<i>RUPPIA FILIFOLIA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Chenopodiaceae	<i>SARCOCORNIA FRUTICOSA</i>	Subarbusto	Perenne	Adventicia
Chenopodiaceae	<i>SARCOCORNIA PULVINATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Dipsacaceae	<i>SCABIOSA ATROPURPUREA</i>	hierba	Perenne	Adventicia
Anacardiaceae	<i>SCHINUS AREIRA</i>	Árbol	Perenne	Nativa
Cyperaceae	<i>SCHOENOPLECTUS AMERICANUS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Cyperaceae	<i>SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Cyperaceae	<i>SCHOENOPLECTUS PUNGENS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO ADENOPHYLLUS</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO ATACAMENSIS</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO BARBARAE</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO CHRYSOLEPIS</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO DICHOTOMUS</i>	Subarbusto	Perenne	Endémica
Asteraceae	<i>SENECIO DIGITATUS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO FILAGINOIDES</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO HAENKEI</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO JARAE</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO LEUCUS</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO MADARIAGAE</i>	Arbusto	Perenne	Endémica
Asteraceae	<i>SENECIO MICROPIFOLIUS</i>	Subarbusto	Perenne	Endémica
Asteraceae	<i>SENECIO MICROTIS</i>	Arbusto	Perenne	Endémica
Asteraceae	<i>SENECIO NUTANS</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO PUCHII</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO REICHEANUS</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO SCORZONERIFOLIUS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO SOCOMPAE</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO VIRIDIS</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO VOLCKMANNII</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SENECIO XEROPHILUS</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Brassicaceae	<i>SISYMBRIUM ORIENTALE</i>	hierba	anual	Adventicia
Asteraceae	<i>SOLANUM CHILENSE</i>	Hierba	Perenne	Endémica
Asteraceae	<i>SOLANUM SINUATIRECURVUM</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>SONCHUS ASPER</i>	Hierba	anual	Adventicia
Asteraceae	<i>SONCHUS OLERACEUS</i>	Hierba	anual	Adventicia
Fabaceae	<i>SPARTIUM JUNCHEUM</i>	arbusto	Perenne	Adventicia
Caryophyllaceae	<i>SPERGULARIA FASCICULATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>TARGETES MINUTA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Asteraceae	<i>TARGETES MULTIFLORA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Malvaceae	<i>TARASA ANTOFAGASTANA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Malvaceae	<i>TARASA CONGESTIFLORA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Malvaceae	<i>TARASA OPERCULATA</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Malvaceae	<i>TARASA PEDICULATA</i>	Hierba	Annual	Endémica
Malvaceae	<i>TARASA TENELLA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Asteraceae	<i>TESSARIA ABSINTHIOIDES</i>	Arbusto	Perenne	Nativa
Aizoaceae	<i>TETRAGONIA MICROCARPA</i>	Hierba	Annual	Nativa
Thelypteridaceae	<i>THELYPTERIS ARGENTINA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Boraginaceae	<i>TIQUILIA ATACAMENSIS</i>	Subarbusto	Perenne	Endémica

Boraginaceae	<i>TIQUILIA PARONYCHIOIDES</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Boraginaceae	<i>TIQUILIA TACENSIS</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>TRAGOPOGON PORRIFOLIUS</i>	hierba	anual	Adventicia
Zygophyllaceae	<i>TRIBULUS TERRESTRIS</i>	hierba	anual	Adventicia
Asteraceae	<i>TRICHOCLINE CAULESCENS</i>	Hierba	Perenne	Endémica
Juncaginaceae	<i>TRIGLOCHIN CONCINNA</i>	hierba	Perenne	Adventicia
Juncaginaceae	<i>TRIGLOCHIN CONCINNA</i>	hierba	Perenne	Adventicia
Cactaceae	<i>TUNILLA SOEHRENSII</i>	suculenta	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>URMENETEA ATACAMENSIS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Malvaceae	<i>UROCARPIDIUM PERUVIANUM</i>	Hierba	Anual	Nativa
Caprifoliaceae	<i>VALERIANA CASTELLANOSII</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Caprifoliaceae	<i>VALERIANA PYCNANTHA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>VERBESINA ENCELIOIDES</i>	Hierba	Anual	Nativa
Apocynaceae	<i>VINCA MAJOR</i>	hierba	Perenne	Adventicia
Asteraceae	<i>WERNERIA ARETIOIDES</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>WERNERIA GLABERRIMA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>WERNERIA PYGMAEA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>WERNERIA SPATHULATA</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Asteraceae	<i>XANTHIUM SPINOSUM</i>	hierba	anual	Adventicia
Asteraceae	<i>XENOPHYLLUM INCISUM</i>	Subarbusto	Perenne	Nativa
Cyperaceae	<i>ZAMEIOSCIRPUS ATACAMENSIS</i>	Hierba	Perenne	Nativa
Potamogetonaceae	<i>ZANNICHELLIA PALUSTRIS</i>	hierba	Perenne	Nativa

ANEXO B. COMPILADO DE BASE DE DATOS ACUATICA OBTENIDA DE DATOS GENERADOS POR PROYECTOS DE INVERSIÓN EN OPERACIÓN.

Tabla 1. Tabla dinámica de la Base de Datos Acuatica obtenida de datos generados por proyectos de inversión en operación.

160

Etiquetas de fila	Cuenta de Zoobentos	Cuenta de Zooplancton	Cuenta de Fitoplancton	Cuenta de Fitobentos	Cuenta de Quimica
Aguas_de_Quelana	27	27	27	27	27
Aguas_de_Quelana	27	27	27	27	27
abr_2014	5	5	5	5	5
NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
SI	4	4	4	4	4
SI	4	4	4	4	4
feb_2015	4	4	4	4	4
SI	4	4	4	4	4
SI	4	4	4	4	4
jul_2014	5	5	5	5	5
NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
SI	4	4	4	4	4
SI	4	4	4	4	4
oct_2004	9	9	9	9	9
SI	9	9	9	9	9
SI	9	9	9	9	9
sep_2013	4	4	4	4	4
SI	4	4	4	4	4
SI	4	4	4	4	4
La_Punta_La_Brava	534	534	534	534	534
La_Brava	277	277	277	277	277
abr_2014	5	5	5	5	5
NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
SI	4	4	4	4	4
SI	4	4	4	4	4
ago_2015	9	9	9	9	9

SI	9	9	9	9	9
SI	9	9	9	9	9
feb_2015	10	10	10	10	10
SI	10	10	10	10	10
SI	10	10	10	10	10
feb_2016	9	9	9	9	9
SI	9	9	9	9	9
SI	9	9	9	9	9
jul_2014	5	5	5	5	5
NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
SI	4	4	4	4	4
SI	4	4	4	4	4
jun_2015	9	9	9	9	9
NO	2	2	2	2	2
NO	2	2	2	2	2
SI	7	7	7	7	7
SI	7	7	7	7	7
nov_2015	9	9	9	9	9
SI	9	9	9	9	9
SI	9	9	9	9	9
s/i_1996	3	3	3	3	3
NO	3	3	3	3	3
NO	3	3	3	3	3
s/i_1997	9	9	9	9	9
NO	9	9	9	9	9
NO	9	9	9	9	9
s/i_1998	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_1999	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2000	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2001	9	9	9	9	9

NO	9	9	9	9	9
NO	9	9	9	9	9
s/i_2002	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2003	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2004	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2005	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2006	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2007	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2008	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2009	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2010	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2011	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2012	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2013	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12

NO	12	12	12	12	12
s/i_2014	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
sep_2008	4	4	4	4	4
SI	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
sep_2013	4	4	4	4	4
SI	4	4	4	4	4
SI	4	4	4	4	4
La_Punta	257	257	257	257	257
abr_2014	4	4	4	4	4
NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
SI	3	3	3	3	3
SI	3	3	3	3	3
ago_2015	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
feb_2015	9	9	9	9	9
SI	9	9	9	9	9
SI	9	9	9	9	9
feb_2016	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
jul_2014	4	4	4	4	4
NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
SI	3	3	3	3	3
SI	3	3	3	3	3
jun_2015	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
nov_2015	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
s/i_1996	3	3	3	3	3

NO	3	3	3	3	3
NO	3	3	3	3	3
s/i_1997	9	9	9	9	9
NO	9	9	9	9	9
NO	9	9	9	9	9
s/i_1998	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_1999	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2000	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2001	9	9	9	9	9
NO	9	9	9	9	9
NO	9	9	9	9	9
s/i_2002	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2003	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2004	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2005	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2006	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2007	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2008	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12

NO	12	12	12	12	12
s/i_2009	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2010	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2011	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2012	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2013	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
s/i_2014	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
NO	12	12	12	12	12
sep_2013	3	3	3	3	3
SI	3	3	3	3	3
SI	3	3	3	3	3
Peine	73	73	73	73	73
Interna	37	37	37	37	37
abr_2014	8	8	8	8	8
NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
SI	7	7	7	7	7
SI	7	7	7	7	7
feb_2015	7	7	7	7	7
SI	7	7	7	7	7
SI	7	7	7	7	7
jul_2014	8	8	8	8	8
NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
SI	7	7	7	7	7
SI	7	7	7	7	7

sep_2008	7	7	7	7	7
SI	7	7	7	7	7
NO	7	7	7	7	7
sep_2013	7	7	7	7	7
SI	7	7	7	7	7
SI	7	7	7	7	7
Salada	32	32	32	32	32
abr_2014	7	7	7	7	7
NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
SI	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
feb_2015	6	6	6	6	6
NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
SI	5	5	5	5	5
SI	5	5	5	5	5
jul_2014	7	7	7	7	7
NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
SI	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
sep_2008	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
NO	6	6	6	6	6
sep_2013	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
Saladita	4	4	4	4	4
abr_2014	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
s/i	1	1	1	1	1
feb_2015	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
jul_2014	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1

SI	1	1	1	1	1
sep_2013	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
Soncor	7	7	7	7	7
Barros_Negros	4	4	4	4	4
abr_2014	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
feb_2015	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
jul_2014	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
sep_2013	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
Chaxa	3	3	3	3	3
abr_2014	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
feb_2015	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
jul_2014	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
Tilopozo	102	102	102	102	102
Lagunas_vecinas_de_Tilopozo	24	24	24	24	24
ago_2015	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
feb_2016	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
jun_2015	6	6	6	6	6

NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
SI	5	5	5	5	5
SI	5	5	5	5	5
nov_2015	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
SI	6	6	6	6	6
Vegas_de_Tilopozo	78	78	78	78	78
ago_2015	2	2	2	2	2
SI	2	2	2	2	2
NO	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
feb_2015	2	2	2	2	2
SI	2	2	2	2	2
NO	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
feb_2016	2	2	2	2	2
SI	2	2	2	2	2
NO	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
jun_2015	2	2	2	2	2
SI	2	2	2	2	2
NO	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
nov_2015	2	2	2	2	2
SI	2	2	2	2	2
NO	1	1	1	1	1
SI	1	1	1	1	1
s/i_1996	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
NO	1	1	1	1	1
s/i_1997	3	3	3	3	3
NO	3	3	3	3	3
NO	3	3	3	3	3
s/i_1998	3	3	3	3	3
NO	3	3	3	3	3
NO	3	3	3	3	3

s/i_1999	3	3	3	3	3
NO	3	3	3	3	3
NO	3	3	3	3	3
s/i_2000	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
s/i_2001	2	2	2	2	2
NO	2	2	2	2	2
NO	2	2	2	2	2
s/i_2002	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
s/i_2003	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
s/i_2004	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
s/i_2005	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
s/i_2006	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
s/i_2007	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
s/i_2008	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
s/i_2009	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
s/i_2010	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
s/i_2011	4	4	4	4	4

NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
s/i_2012	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
s/i_2013	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
s/i_2014	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
NO	4	4	4	4	4
Total general	743	743	743	743	743

ANEXO C

Estándares abiertos para la práctica de la conservación de la Asociación de Medidas de Conservación (Foundations of Success, 2009)

Resumen de los Estándares Abiertos para la Práctica de la Conservación

171

Los Estándares Abiertos para la Práctica de la Conservación están destinados a describir el proceso general necesario para la implementación exitosa de proyectos de conservación y están organizados en un ciclo de cinco pasos para el manejo de tales proyectos. En la siguiente tabla los números denotan los pasos y sub-pasos y los diamantes (♦) denotan los resultados directos. Por supuesto, no todos los estándares o resultados directos serán apropiados bajo distintas condiciones y en distintos proyectos, por lo tanto, será necesario realizar adaptaciones si se requiere.

<p>1. Conceptualizar</p> <p>1A. Definir el propósito de planificación y equipo de proyecto inicial</p> <ul style="list-style-type: none"> Identificación del propósito de la planificación y decisiones Identificación de decisiones ya tomadas y limitaciones Selección del equipo de proyecto inicial Identificación de capacidades y habilidades clave Identificación de vacíos en capacidades o conocimiento Designación de roles y responsabilidades. <p>1B. Definir el alcance, visión y objetos de conservación</p> <ul style="list-style-type: none"> Breve descripción del alcance del proyecto. Mapa del área del proyecto. Declaratoria de visión del proyecto. Selección de los objetos de conservación. Descripción de la condición de cada objeto de conservación prioritario. <p>1C. Identificar las amenazas críticas</p> <ul style="list-style-type: none"> Identificación de las amenazas directas Valoración o jerarquización de las amenazas directas <p>1D. Completar el análisis situacional</p> <ul style="list-style-type: none"> Identificación y análisis de las amenazas indirectas y oportunidades. De ser relevante, selección de objetos de bienestar humano Evaluación de los actores e intereses primarios. Modelo conceptual inicial. Comprobación en campo y revisión del modelo. <p>2. Planificar sus acciones y monitoreo</p> <p>2A. Desarrollar un plan de acción formal:</p> <ul style="list-style-type: none"> Objetivos para cada objeto de conservación Identificación de puntos clave de intervención y estrategias preliminares (borrador). 	<ul style="list-style-type: none"> Jerarquización de las estrategias preliminares (borrador) Cadenas de resultados que especifiquen los supuestos para las estrategias claves. Metas para estrategias claves. Estrategias, cadenas de resultados y metas finalizadas. Plan de Acción finalizado. <p>2B. Desarrollar un plan de monitoreo formal</p> <ul style="list-style-type: none"> Audiencias y necesidades de información definidas. Indicadores y métodos definidos. Plan de Monitoreo finalizado. <p>2C. Desarrollar un plan operativo</p> <ul style="list-style-type: none"> Evaluación de los recursos humanos, financieros y demás Evaluación de riesgo y mitigación. Estimación del tiempo de vida del proyecto y estrategia de salida/cierre. <p>3. Implementar acciones y monitoreo</p> <p>3A. Desarrollar un plan de trabajo detallado a corto plazo y un cronograma</p> <ul style="list-style-type: none"> Plan de trabajo que detalla las tareas, actividades y responsabilidades. Cronograma o calendario del proyecto <p>3B. Desarrollar y refinar el presupuesto del proyecto</p> <ul style="list-style-type: none"> Presupuesto del proyecto. Fuentes potenciales de financiamiento identificadas. Propuestas de financiamiento desarrolladas y enviadas. Recursos financieros obtenidos. <p>3C. Implementar sus planes</p> <ul style="list-style-type: none"> Implementación del plan estratégico. Implementación del plan de trabajo. <p>4. Analizar, usar, y adaptar</p> <p>4A. Preparar sus datos para el análisis</p> <ul style="list-style-type: none"> Sistemas desarrollados para registrar, almacenar, procesar y generar archivos de respaldo para los datos del proyecto. 	<p>4B. Analizar los resultados</p> <ul style="list-style-type: none"> Análisis de los resultados y supuestos del proyecto. Análisis de los datos operativos y financieros. Documentación de las discusiones y decisiones. <p>4C. Adaptar su plan estratégico</p> <ul style="list-style-type: none"> Revisar documentos del proyecto, plan de acción, plan de monitoreo, plan operativo, plan de trabajo y presupuesto. Documentación de discusiones y decisiones tomadas. <p>5. Capturar y compartir el aprendizaje</p> <p>5A. Documentar el aprendizaje</p> <ul style="list-style-type: none"> Documentación de resultados y lecciones clave. <p>5B. Compartir el aprendizaje</p> <ul style="list-style-type: none"> Identificación de las audiencias clave. Desarrollo de una estrategia de comunicación. Informes regulares a los miembros del equipo de proyecto y a actores clave. Desarrollo y distribución de productos de comunicación. Uso de productos de comunicación de otras personas. <p>5C. Construir un ambiente de aprendizaje</p> <ul style="list-style-type: none"> Retroalimentación regular compartida formal o informalmente. Evaluaciones y/o auditorías oportunas durante el ciclo de proyecto. Compromiso demostrado de parte de los líderes hacia el aprendizaje e innovación. Ambiente seguro para promover la experimentación. Compromiso de compartir los éxitos y fracasos con los demás profesionales de la conservación. <p>Cerrar el Círculo</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: *Estándares Abiertos para la Práctica de la Conservación* desarrollado por la Alianza para las Medidas de Conservación (*Conservation Measures Partnerships* - CMP). Versión 3.0 / Abril 2013. www.conservationmeasures.org

En el siguiente diagrama se muestra el ciclo del manejo de proyectos con los Estándares Abiertos según la Alianza para las Medidas de Conservación (*Conservation Measures Partnerships* - CMP).



Fuente: *Estándares Abiertos para la Práctica de la Conservación* desarrollado por la Alianza para las Medidas de Conservación (Conservation Measures Partnerships - CMP). Versión 3.0 / Abril 2013. www.conservationmeasures.org

ANEXO D

Listas de *taxa* de ecosistemas acuáticos encontrados en distintos subsistemas hidrológicos del Salar de Atacama

Lista de los *taxa* encontrados en los tapetes microbianos asociados a distintos subsistemas hidrológicos del Salar de Atacama

174

<i>Taxa</i>	La Punta-La Brava	Soncor	Tebenquiche
<i>Acetothermia KB1</i>			X
<i>Acetothermia MSBL6</i>			X
<i>Acetothermia OP1</i>	X		
<i>Acidobacteria</i>	X		X
<i>Aminicenantes HMMVPog-54</i>			X
<i>Anaerolineae OPB11</i>			X
<i>Atribacteria BA021</i>			X
<i>Bacillus arseniciselenatis</i>		X	
<i>Bacteroidetes</i>	X		X
<i>Caldithrix</i>	X		X
<i>Cellulophaga marinoflava</i>			X
<i>Chalmydiae</i>	X		X
<i>Chloroflexi</i>	X		X
<i>Chlorothrixaceae</i>			X
<i>Clostridia</i>			X
<i>Clostridiaceae bacterium</i>		X	
<i>Crenarchaeota</i>	X		
<i>Crenarchaeota MBGB</i>	X		X
<i>Crenarchaeota MCG</i>			X
<i>Cyanobacteria</i>	X		
<i>Deinococcus -Thermus</i>	X		
<i>Desulfovibrionaceae</i>		X	
<i>Dethiosulfobivrio acidaminovorans</i>		X	
<i>Epsilonproteobacteria</i>		X	
<i>Euryarchaeota</i>	X		
<i>Euryarchaeota ArcA07</i>			X
<i>Euryarchaeota MSBL1</i>			X
<i>Firmicutes</i>	X		X
<i>Gracilibacteria 3BR-5F</i>			X
<i>Halanaerobacter</i>			X
<i>Halanaerobiaceae</i>			X
<i>Halanaerobium</i>			X
<i>Haloarcula</i>			X
<i>Halobacteria XKL75</i>			X
<i>Halobacteriaceae</i>			X

Taxa	La Punta-La Brava	Soncor	Tebenquiche
<i>Halobacteriales MSP41</i>			X
<i>Halomonas</i>		X	
<i>Halonotius</i>			X
<i>Haloplanus</i>			X
<i>Halorhabdus</i>			X
<i>Halorubrum</i>			X
<i>Latescibacteria PRR-12</i>			X
<i>Lentisphaerae</i>	X		X
<i>Leptospirales</i>			X
<i>Marinobacter</i>		X	
<i>Methanobacteria</i>			X
<i>Methanobacteriales</i>			X
<i>Methanomassiliicoccaceae</i>			X
<i>Muricauda aquimarina</i>			X
<i>Phycisphaerae AKAU3564</i>			X
<i>Phycisphaerae MSBL9</i>			X
<i>Phycisphaerae ODP1230B3009</i>			X
<i>Phycisphaerales</i>			X
<i>Planctomycetes</i>	X		X
<i>Proteobacteria</i>	X		X
<i>Pseudomonadales</i>		X	
<i>Psychroflexus torquis</i>		X	X
<i>Psychroserpens mesophilus</i>			X
<i>Rhodobacteracea</i>		X	
<i>Roseobacter clone 253</i>			X
<i>Salinibacter ruber</i>			X
<i>Spirochaetes</i>	X		X
<i>Spirochaetes SBYZ_6080</i>			X
<i>Tenacibaculum discolor</i>			X
<i>Thermi</i>	X		X
<i>Thermoplasmata</i>			X
<i>Thermoplasmata 20c-4</i>			X
<i>Thermoplasmata DHVEG1</i>			X
<i>Thermotogaceae SC103</i>			X
<i>Thiomicrospira crunogena</i>		X	
<i>Verrucomicrobia</i>	X		X
<i>Xanthomonadales</i>		X	

Lista de especies de fitobentos que ocurren en distintos subsistemas hidrológicos del Salar de Atacama. Presencia – ausencia

Especies/Subsistemas	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	V. Tilopozo
<i>Achnanthes atacamae</i>	X	X	X	
<i>Achnanthes brevipes</i>	X	X	X	
<i>Achnanthes inflata</i>			X	
<i>Achnanthes minutissima</i>		X	X	
<i>Achnanthes submarina</i>	X			
<i>Achnanthes thermalis</i> var. <i>rumrichorum</i>			X	
<i>Achnanthes</i> sp.				X
<i>Achnanthes</i> spp.			X	
<i>Achnanthidium exiguum</i>				X
<i>Achnanthidium minutissimum</i>				X
<i>Achnanthidium</i> spp.			X	X
<i>Adlafia minuscula</i>			X	
<i>Adlafia</i> sp.			X	
<i>Amphora acutiuscula</i>	X	X		
<i>Amphora atacamae</i>	X	X	X	
<i>Amphora atacamana</i>			X	
<i>Amphora carvajaliana</i>	X	X	X	
<i>Amphora coffeaeformis</i>		X		
<i>Amphora libyca</i>			X	
<i>Amphora lineolata</i> var. <i>calamae</i>	X			X
<i>Amphora subrobusta</i>				X
<i>Amphora</i> sp.	X	X	X	
<i>Amphora</i> spp.			X	X
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	X	X		
<i>Brachysira aponina</i>	X		X	X
<i>Brachysira atacamae</i>			X	
<i>Brachysira</i> sp.			X	X
<i>Brachysira</i> spp.			X	X
<i>Caloneis silicula</i>			X	
<i>Cocconeis euglypta</i>			X	X
<i>Cocconeis lineata</i>			X	X
<i>Cocconeis neodiminuta</i>			X	X
<i>Cocconeis placentula</i>		X		

Especies/Subsistemas	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	V. Tilopozo
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>	X		X	X
<i>Cocconeis</i> sp.			X	
<i>Coscinodiscophyceae</i> (Subclase)			X	
<i>Craticula cuspidata</i>	X	X	X	
<i>Craticula</i> spp.			X	X
<i>Cymbella pusilla</i>	X	X	X	X
<i>Cymbella</i> spp.				X
<i>Cymbellonitzschia</i> sp.				X
<i>Cymbellonitzschia</i> spp.			X	
<i>Denticula elegans</i>			X	
<i>Denticula kuetzingii</i>	X	X	X	X
<i>Denticula</i> spp.			X	X
<i>Denticula subtilis</i>	X		X	X
<i>Denticula thermalis</i>		X	X	X
<i>Denticula valida</i>	X		X	X
<i>Diatoma moniliformis</i>	X		X	
<i>Diploneis chilensis</i>			X	X
<i>Diploneis elliptica</i>			X	
<i>Diploneis smithii</i>			X	X
<i>Diploneis smithii</i> var. <i>rhombica</i>	X		X	
<i>Diploneis</i> sp.			X	
<i>Diploneis</i> spp.				X
<i>Entomoneis paludosa</i>	X	X	X	X
<i>Entomoneis</i>				X
<i>Epithemia adnata</i>	X	X		
<i>Epithemia</i> sp.			X	X
<i>Fallacia diploneoides</i>			X	
<i>Fallacia</i> sp.			X	
<i>Fragilaria brevistriata</i>	X	X	X	
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i>			X	
<i>Fragilaria pinnata</i>	X			
<i>Fragilaria</i> sp. 1	X			
<i>Fragilaria</i> spp.		X	X	X

Especies/Subsistemas	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	V. Tilopozo
<i>Frankophila similioides</i>	X			X
<i>Gomphonema sp.</i>			X	
<i>Halamphora atacamae</i>			X	
<i>Halamphora carvajaliana</i>			X	X
<i>Halamphora coffeaeformis</i>			X	
<i>Halamphora spp.</i>			X	X
<i>Haloroundia speciosa</i>		X	X	X
<i>Hantzschia sp.</i>			X	
<i>Karayevia sp.</i>			X	
<i>Mastogloia atacamae</i>	X	X	X	X
<i>Mastogloia braunii</i>	X	X	X	X
<i>Mastogloia elliptica</i>	X	X	X	
<i>Mastogloia smithii</i>	X		X	X
<i>Mastogloia spp.</i>		X	X	X
<i>Navicula atacamana</i>	X	X	X	
<i>Navicula brevipes</i>		X	X	
<i>Navicula carvajaliana</i>	X			
<i>Navicula cincta</i>	X	X	X	
<i>Navicula cryptotenella</i>	X	X	X	X
<i>Navicula digitoradiata</i>			X	
<i>Navicula kuripanensis</i>	X		X	
<i>Navicula lauca</i>				X
<i>Navicula luisii</i>	X		X	
<i>Navicula parinacota</i>			X	
<i>Navicula salinicola</i>	X	X	X	X
<i>Navicula sp.1</i>	X	X		
<i>Navicula spp.</i>	X		X	X
<i>Nitzschia fonticola</i>			X	X
<i>Nitzschia accedens var. chilensis</i>			X	X
<i>Nitzschia bacillum</i>			X	
<i>Nitzschia brevistriata</i>		X	X	
<i>Nitzschia denticulum</i>			X	
<i>Nitzschia epitenoides</i>		X	X	

Especies/Subsistemas	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	V. Tilopozo
<i>Nitzschia frustulum</i>	X		X	
<i>Nitzschia grunowii</i>			X	
<i>Nitzschia inconspicua</i>	X			
<i>Nitzschia liebetruthii</i>	X	X	X	
<i>Nitzschia palea</i>			X	X
<i>Nitzschia pelucida</i>	X			
<i>Nitzschia perminuta</i>	X	X		
<i>Nitzschia pusilla</i>	X	X	X	X
<i>Nitzschia salinicola</i>		X		
<i>Nitzschia spp.</i>	X		X	X
<i>Nitzschia valdecostata</i>	X	X	X	X
<i>Pennales indet.</i>			X	X
<i>Pinnularia sp.</i>			X	X
<i>Pinnularia viridis</i>	X	X		
<i>Planothidium biporum</i>			X	
<i>Planothidium chilense</i>	X	X	X	X
<i>Planothidium delicatulum</i>	X			
<i>Planothidium frequentissimum</i>			X	
<i>Planothidium lanceolatum</i>			X	
<i>Planothidium sp.</i>				X
<i>Planothidium sp. 1</i>	X			
<i>Planothidium spp.</i>			X	X
<i>Proschkinia bulnheimii</i>			X	X
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>			X	X
<i>Pseudostaurosira sp.</i>			X	X
<i>Pseudostaurosira spp.</i>			X	
<i>Pseudostaurosira subsalina</i>			X	X
<i>Rhopalodia acuminata</i>				X
<i>Rhopalodia constricta</i>			X	X
<i>Rhopalodia sp.</i>			X	
<i>Rhopalodia spp.</i>			X	X
<i>Rhopalodia wetzeli</i>			X	X
<i>Stauroneis atacamae</i>	X			

Especies/Subsistemas	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	V. Tilopozo
<i>Stauroneis legleri</i>	X	X		X
<i>Stauroneis leptostauron</i>			X	
<i>Stauroneis</i> sp.			X	X
<i>Staurosira</i> spp.			X	X
<i>Staurosirella pinnata</i>			X	X
<i>Staurosirella</i> spp.			X	X
<i>Scoliopleura peisonis</i>				X
<i>Scoliopleura</i> sp.				X
<i>Surirella tenera</i>				X
<i>Surirella sella</i>	X	X	X	X
<i>Surirella wetzeli</i>			X	X
<i>Surirella</i> spp.			X	X
<i>Tryblionella hungarica</i>			X	
<i>Tryblionella</i> sp.			X	
<i>Ulnaria ulna</i>			X	
Otras diatomeas	X			

Fuente: Elaboración Propia

Lista de especies de fitoplancton que ocurren en distintos subsistemas hidrológicos del Salar de Atacama.
Presencia – ausencia

Especies/Subsistemas	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V. Tilopozo
<i>Achnanthes atacamae</i>	X	X			
<i>Achnanthes brevipes</i>	X	X	X		
<i>Achnanthes coarctata</i>					X
<i>Achnanthes inflata</i>					X
<i>Achnanthes minutissima</i>		X			
<i>Achnanthes modestiformis</i>			X		
<i>Achnanthes</i> sp.			X	X	X
<i>Achnanthes submarina</i>	X		X		X
<i>Achnanthidium exiguum</i>			X	X	
<i>Achnanthidium minutissimum</i>			X	X	
<i>Achnanthidium saprophilum</i>			X		
<i>Achnanthidium</i> sp.			X		

Especies/Subsistemas	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V. Tilopozo
<i>Achnanthidium spp.</i>				X	X
<i>Adlafia sp.</i>			X		
<i>Amphora acutiuscula</i>	X	X			X
<i>Amphora atacamae</i>		X	X		
<i>Amphora lineolata</i>		X			
<i>Amphora lineolata var. calamae</i>				X	
<i>Amphora sp.</i>	X	X	X		
<i>Amphora sp. 2</i>	X				
<i>Amphora spp.</i>			X	X	X
<i>Amphora subrobusta</i>				X	
<i>Anacystis sp.</i>			X		
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>		X			
<i>Botryococcus braunii</i>	X				
<i>Brachysira aponina</i>	X		X	X	X
<i>Brachysira atacamae</i>			X		
<i>Brachysira spp.</i>			X	X	X
<i>Campylodiscus sp.</i>			X		
<i>Cavinula sp.</i>					X
<i>Ceratium hirundinella</i>			X		
<i>Chlorella sp.</i>	X				
<i>Cocconeis euglypta</i>			X	X	X
<i>Cocconeis lineata</i>			X	X	X
<i>Cocconeis neodiminuta</i>			X		X
<i>Cocconeis placentula var. euglypta</i>	X		X		X
<i>Cocconeis sp.</i>			X		X
<i>Craticula cuspidata</i>		X	X		
<i>Craticula spp.</i>			X	X	X
<i>Crucigeniella rectangularis</i>	X				
<i>Cyclotella ocellata</i>			X		
<i>Cyclotella sp.</i>					X
<i>Cymbella pusilla</i>	X	X	X	X	X
<i>Cymbella sp.</i>			X		X
<i>Cymbellonitzschia sp.</i>			X	X	X

Especies/Subsistemas	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V. Tilopozo
<i>Denticula elegans</i>			X		
<i>Denticula kuetzingii</i>	X	X	X	X	X
<i>Denticula spp.</i>			X	X	X
<i>Denticula subtilis</i>	X		X		X
<i>Denticula thermalis</i>			X		X
<i>Denticula valida</i>	X		X		X
<i>Diatoma moniliformis</i>			X		X
<i>Diatomea sp.</i>			X		
<i>Diploneis smithii</i>			X		
<i>Diploneis smithii var. dilatata</i>			X		
<i>Diploneis sp.</i>			X		X
<i>Encyonopsis microcephala</i>			X		
<i>Entomoneis</i>			X	X	
<i>Entomoneis paludosa</i>			X	X	
<i>Epithemia adnata</i>			X		
<i>Fallacia diploneoides</i>	X				
<i>Fallacia sp.</i>			X		
<i>Fragilaria bicapitata</i>			X		X
<i>Fragilaria brevistriata</i>	X	X	X		
<i>Fragilaria capucina</i>			X		
<i>Fragilaria pinnata</i>	X		X		
<i>Fragilaria spp.</i>			X	X	X
<i>Fragilaria staurosirella</i>			X		
<i>Frankophila similioides</i>			X		
<i>Gomphonema parvulum</i>					X
<i>Gomphonema spp.</i>					X
<i>Gomphosphaeria sp.</i>			X		X
<i>Halamphora acutiuscula</i>			X		X
<i>Halamphora atacamae</i>			X		X
<i>Halamphora carvajaliana</i>			X	X	X
<i>Halamphora coffeaeformis</i>			X		X
<i>Halamphora spp.</i>			X	X	X
<i>Halamphora veneta</i>					X

Especies/Subsistemas	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V. Tilopozo
<i>Haloroundia speciosa</i>		X	X	X	X
<i>Karayevia sp.</i>			X		
<i>Luticola sp.</i>			X		
<i>Lyngbya martensiana</i>	X				
<i>Lyngbya sp.</i>	X				
<i>Mastogloia atacamae</i>	X	X	X	X	
<i>Mastogloia braunii</i>		X	X	X	
<i>Mastogloia brevistriata</i>		X			
<i>Mastogloia elliptica</i>		X	X		
<i>Mastogloia smithii</i>			X	X	X
<i>Mastogloia spp.</i>		X	X	X	X
<i>Merismopedia glauca</i>	X				
<i>Mougeotia sp.</i>			X		X
<i>Navicula atacamana</i>		X			
<i>Navicula carvajalana</i>		X			
<i>Navicula cincta</i>		X	X		X
<i>Navicula cryptotenella</i>	X	X	X	X	X
<i>Navicula kuripanensis</i>			X		
<i>Navicula lauca</i>				X	X
<i>Navicula luisii</i>			X		
<i>Navicula parinacota</i>			X		X
<i>Navicula radiosa</i>			X		
<i>Navicula salinicola</i>	X		X	X	X
<i>Navicula spp.</i>	X		X	X	X
<i>Navicula tripunctata</i>			X		X
<i>Navicula veneta</i>					X
<i>Nitzschia accedens var. chilensis</i>	X		X	X	
<i>Nitzschia bacillum</i>	X		X		X
<i>Nitzschia dissipata</i>					X
<i>Nitzschia epithemoides</i>		X	X		
<i>Nitzschia fonticola</i>			X	X	X
<i>Nitzschia frustulum</i>	X				
<i>Nitzschia grunowii</i>			X		

Especies/Subsistemas	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V. Tilopozo
<i>Nitzschia inconspicua</i>	X		X		X
<i>Nitzschia lacunarum</i>			X		
<i>Nitzschia liebetruthii</i>	X	X	X		
<i>Nitzschia ovalis</i>			X		X
<i>Nitzschia pusilla</i>			X	X	X
<i>Nitzschia spp.</i>	X		X	X	X
<i>Nitzschia valdecostata</i>		X	X	X	X
<i>Nodularia sp.</i>	X				
<i>Nodularia spumigena</i>	X				
<i>Nostoc commune</i>	X				
<i>Nostoc sp.</i>			X		
<i>Oedogonium sp.</i>			X		X
<i>Oscillatoria amoena</i>	X				
<i>Oscillatoria limosa</i>					X
<i>Oscillatoria margaritifera</i>	X				
<i>Oscillatoria spp.</i>			X		X
<i>Pennales indet.</i>			X	X	X
<i>Pinnularia sp.</i>				X	
<i>Planothidium biporumum</i>			X		X
<i>Planothidium chilense</i>	X	X	X		X
<i>Planothidium delicatulum</i>	X	X			
<i>Planothidium lanceolatum</i>			X		X
<i>Planothidium sp.</i>	X		X	X	X
<i>Platessa sp.</i>			X		X
<i>Proshkinia bulnheimii</i>	X		X	X	X
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>			X	X	X
<i>Pseudostaurosira elliptica</i>			X		
<i>Pseudostaurosira sp.</i>			X	X	X
<i>Pseudostaurosira subsalina</i>			X	X	X
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>			X		
<i>Rhopalodia acuminata</i>				X	X
<i>Rhopalodia constricta</i>			X	X	X
<i>Rhopalodia spp.</i>			X	X	X

Especies/Subsistemas	A. Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V. Tilopozo
<i>Rhopalodia wetzeli</i>			X	X	X
<i>Scoliopleura peisonis</i>				X	X
<i>Scoliopleura sp.</i>				X	
<i>Sellaphora laevisissima</i>			X		
<i>Spirogyra sp.</i>	X		X		X
<i>Stauroneis atacamae</i>			X		
<i>Stauroneis legleri</i>	X	X		X	
<i>Stauroneis sp.</i>			X	X	X
<i>Staurosirella pinnata</i>			X	X	X
<i>Staurosirella spp.</i>			X	X	X
<i>Stenopterobia sp.</i>					X
<i>Surirella sella</i>	X	X	X	X	X
<i>Surirella spp.</i>			X	X	X
<i>Surirella tenera</i>				X	
<i>Tabularia fasciculata</i>			X		
<i>Tolypothrix sp.</i>	X				X
<i>Tribonema sp.</i>					X
<i>Tryblionella compressa</i>			X		X
<i>Tryblionella hungarica</i>			X		
<i>Tryblionella sp.</i>					X
<i>Zygnema sp.</i>					X
Otras diatomeas	X				

Fuente. Elaboración propia

Lista de *taxa* de zooplancton que ocurren en distintos subsistemas hidrológicos del Salar de Atacama. Presencia – ausencia

Taxa	A Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V Tilopozo
Acari	X		X		X
Arachnida	X				
Artemia franciscana	X	X	X	X	X
Attheyella sp	X	X	X	X	
Boeckella bergi			X		X
Boeckella sp	X	X	X	X	
Boeckella titicacae		X	X		

Taxa	A Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V Tilopozo
Brachionus calyciflorus	X	X			
Brachionus plicatilis		X			
Brachionus sp		X			
Canthocamptidae	X	X	X	X	X
Cephalodella sp		X	X		
Ceratopogonidae	X	X	X	X	
Chironomidae	X	X	X		X
Cochliopidae			X		X
Collembola	X				
Copepoda			X		X
Cyclopoida	X	X	X		X
Dolichopodidae		X	X		X
Dytiscidae					X
Elmidae			X		X
Empididae		X	X		X
Ephydriidae	X	X	X	X	X
Eucypris sp	X	X	X		X
Harpacticoida		X	X		
Hyalella sp	X	X	X		
Hydrachnidia	X				
Hydrobiidae		X	X		X
Lepidoptera					X
Littoridina sp		X			
Mesochra sp	X				
Metacyclops sp	X	X			
Nematoda	X	X		X	
Odonata					X
Oligochaeta			X		X
Ostracoda		X			
Paracyclops fimbriatus	X				
Paracyclops sp		X			
Planorbidae			X		X
Psychodidae					X
Stratiomyidae		X			
Syrphidae		X			
Tipulidae		X			X

Taxa	A Quelana	Peine	Punta-Brava	Soncor	V Tilopozo
Zygoptera	X				

Fuente. Elaboración propia

Lista de *taxa* de zoobentos que ocurren en distintos subsistemas hidrológicos del Salar de Atacama. Presencia – ausencia

187

Clase/orden	Taxa	Punta-Brava	Peine	A. Quelana	Soncor	V. Tilopozo
Acari	Acari (Subclase)	X				X
Coleoptera	Elmidae					X
Copepoda	Canthocamptidae	X	X	X		X
Amphipoda	Hyalella sp.	X				
Amphipoda	Hyalellidae	X	X			
Diptera	Ceratopogonidae	X	X	X		X
	Chironomidae	X	X			X
	Dolichopodidae	X		X		X
	Empididae	X	X			
	Ephydriidae	X	X	X	X	X
	Limoniidae	X				
	Sciomyzidae					X
	Stratiomyidae	X				X
	Syrphidae	X				
Gastropoda	Amnicolidae	X	X			
	Cochliopidae	X	X			
	Heleobia sp.	X				
	Heleobia atacamensis	X	X	X		
	Hydrobiidae	X				
Hemiptera	Corixidae					X
Odonata	Lestidae	X				
Oligochaeta	Lumbriculidae	X				
Ostracoda	Eucypris sp.	X				
Thysanoptera	Thysanoptera					X

Fuente. Elaboración propia

Anexo E. Base de datos para la caracterización de escalas espaciotemporales de migración en especies de flamencos presentes en el Salar de Atacama

Especie	Desplazamiento	Distancia de migración (km)	Periodicidad de migración (años)
Flamenco andino	Tilopozo-Pujsa, Chile	98,0000	0,2500
	Tilopozo-Guayatatoc, Argentina	248,9400	0,2500
	Tilopozo-Laguna de Pozuelo (Ar)	277,2900	0,2500
	Tilopozo-Salar de Surire	551,5800	0,2500
	Tilopozo-Lago Poopó, Bolivia	574,4300	0,5000
	Tilopozo-Laguna de Pozuelo (Ar)	277,2900	0,5000
	Tilopozo-Salar de Surire	551,5800	1,0000
	Tilopozo-Lago Poopó, Bolivia	574,4300	1,0000
Flamenco de James	Tilopozo-Salar de Surire	551,5800	0,5000
	Tilopozo-Lago Poopó, Bolivia	574,4300	0,5000
	Tilopozo-Guayatatoc, Argentina	248,9400	0,5000
Flamenco chileno	Tilopozo-Mar Chiquita	952,5000	1,0000
	Tilopozo-Itata	1466,7000	1,0000

	Tilopozo- Guayatato, Argentina	248,9400	0,5000
	Tilopozo-Salar de Surire	551,5800	0,5000